



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
Mérida - Venezuela

ISSN: 1856-5301

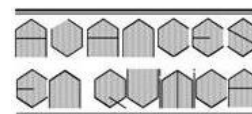
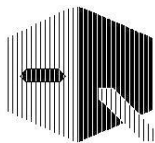
Avances en Química

Volumen 21

Número 1

Enero - abril, 2026





Comité editorial

Dra. Marcela Pascu de Burguera

Universidad de Los Andes,
Facultad de Ciencias, Departamento
de Química. Laboratorio de Espectroscopia Molecular. Mérida 5101, Venezuela.

pascu@ula.ve

Dr. Issa Katime Amashta

Universidad del País Vasco.
Grupo de Nuevos Materiales. Apartado Postal 644, Bilbao, España.

issa.katime@ehu.es

Dr. Wilmer Olivares

Universidad de Los Andes,
Facultad de Ciencias, Departamento
de Química. Grupo de Química Teórica. Mérida 5101, Venezuela.

wilmer@ula.ve

Dr. Jairo Márquez.

Universidad de Los Andes,
Facultad de Ciencias, Departamento
de Química. Laboratorio de Electroquímica. Mérida 5101, Venezuela.

jamar@ula.ve

Dr. Enrique Millán Barrios

Universidad de Los Andes,
Facultad de Ciencias, Departamento
de Química. Laboratorio de Electroquímica. Mérida 5101, Venezuela.

eimb@ula.ve

Editor Jefe

Dr. Cristóbal Lárez Velásquez

Universidad de Los Andes,
Facultad de Ciencias, Departamento
de Química, Grupo de Polímeros.
Mérida 5101, Venezuela

Teléfono: 0058-274-2401381

Fax: 0058-274-2401286

e-mail: clarez@ula.ve

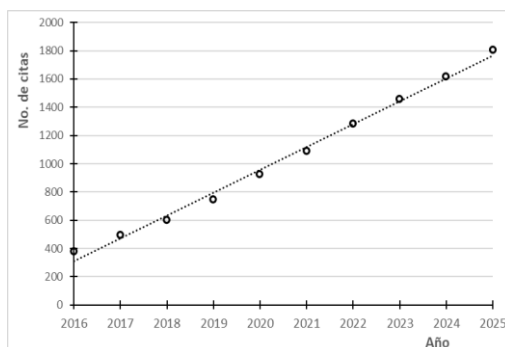
Avances en Química y los retos de la inteligencia artificial, entre otros

Cristóbal Lárez Velásquez
Editor Jefe, Avances en Química

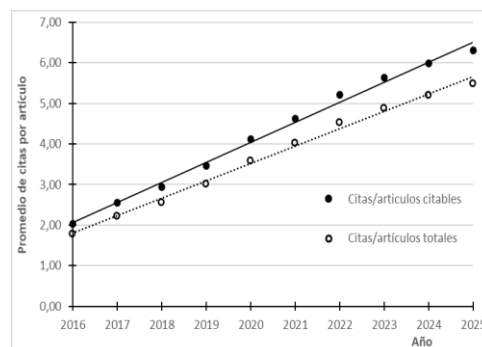
Al iniciar el primer año de la tercera década de la revista se vislumbran varias situaciones preocupantes en el futuro de las publicaciones científicas que merecen ser reseñadas porque, naturalmente, **Avances en Química** no escapa de ellas. En primer lugar, habría que mencionar un hecho varias veces comentado en editoriales anteriores: la cada vez mas escasa disponibilidad de los investigadores para servir como evaluadores de sus pares. Adicionalmente, muchos evaluadores no responden para revisar las correcciones solicitadas a los autores luego de enviadas su primeras recomendaciones; esta es una situación en la que nuestra revista difícilmente pueda tomar medidas para estimular tales procesos debido a que no posee recursos financieros para ello. En segundo lugar, se puede mencionar una tendencia que se ha venido observando en este complejo mundo de las revistas científicas: la comercialización de puestos para autores en artículos, en los cuales solo hace falta que un investigador pague un determinado monto para formar parte de los coautores de una publicación. Los montos que se pagan pueden variar dependiendo del nivel de la revista y de la posición entre los autores que se oferte. Aunque esta situación escapa muchas veces al control de las revistas, también se ha indicado que parece ser una práctica corriente de las denominadas revistas depredadoras. En este caso ultimo caso, muchas veces sus empresas editoriales logran camuflajearse exitosamente mediante la adquisición de revistas que gozan de cierto nivel de prestigio. No sabemos si hay intenciones de este tipo con nuestra revista, pero desde hace ya un cierto tiempo se reciben mensualmente un número importante de ofertas para su compra o para ofrecer apoyo a la revista a cambio de enviar artículos en lotes.

Adicionalmente a estas dificultades, existe otra que parece destinada a extenderse durante un buen tiempo, mientras surjan (esperamos) los correctivos necesarios: el uso indiscriminado de la inteligencia artificial (IA) generativa para la “construcción” de artículos científicos. Aunque el tema es extenso, los siguientes puntos intentarán resumir los riesgos significativos que pueden comprometer la integridad de las publicaciones científica debido al abuso de estas herramientas: a) generación de información falsa, citas bibliográficas inexistentes y/o datos inventados que parecen reales, b) creación de textos muy cercanos a los publicados en fuentes existentes sin mencionarlas (un plagio conocido como mosaico) o que cumplen con los requisitos formales de un artículo serio pero que realmente no hacen ninguna contribución intelectual, c) obtención de resultados parcializados y/o discriminatorios debido a los modelos sesgados de entrenamiento de las distintas IA, d) poca transparencia y/o verificabilidad de resultados presentados, e) generación de una dependencia que pudiera limitar la capacidad de los investigadores para realizar análisis críticos profundos y desarrollar ideas originales. Por todas estas razones, entre otras, **Avances en Química** se avocará el presente año a delinear su posición en este delicado asunto.

En relación con la acostumbrada relación de los logros de la revista, es satisfactorio comentar que los 19 artículos publicados en 2025 (tabla 1) permitió finalmente superar el número de artículos anuales de los últimos 8 años (un promedio de 12). Por su parte, se alcanzó la cifra de 1804 citas, manteniéndose un crecimiento prácticamente constante desde hace ya unos diez años (figura a), lo que se refleja en el aumento del promedio de citas por artículo (figura b), ya sea considerando las citas en función del número de artículos totales (5,48 citas/artículo) o citables (6,99 citas/artículo) hasta 2025.



(a)



(b)

Continúa en la página siguiente

Editorial

Finalmente, es necesario mencionar que este año se ha intentado obtener un artículo de Actualidad Química sobre el tema en el que recayó del Nobel de Química del años pasado, mediante dos invitaciones a investigadores relacionados al área, sin haber obtenido respuestas a dichas invitaciones. Este hecho puede considerarse realmente lamentable porque se pierde parte del esfuerzo que hace la revista para proveer información actualizada a la comunidad hispanoparlante, especialmente a estudiantes e investigadores que recién comienzan sus carreras. Esperemos que esta situación pueda mejorar en los próximos años.

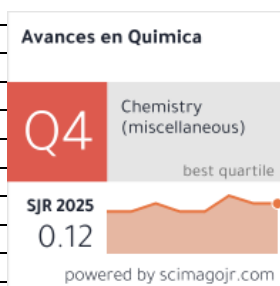
Tabla 1. Número de artículos publicados en *Avances en Química* hasta el 28 de abril de 2026, desglosados por tipo y año de publicación. Datos obtenidas a través de Google Académico.

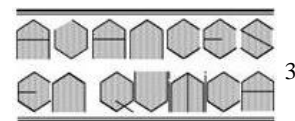
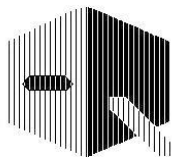
Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Totales	%	
Editorial	3	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25	7,60	
Semblanza	1	1	1	1			1			2	1	1	1	1		1				1	13	3,95	
In memoriam		1									2							1		1	5	1,52	
Actualidad química										1			1	1		1	1	1		1	7	2,13	
Artículo divulgativo	2	2	1	1		1		2		1		1	2	1	1					3	18	5,47	
Revisión bibliográfica		2		1		1	2	1	1	1	1	1	1		1	3		1	1	2	20	6,08	
Nota					1						1										0	2	0,61
Nota técnica		1	1	3	3	1	2	5	1	3	0	1	2		2	1				0	26	7,90	
Artículo científico	7	6	9	9	20	12	20	15	13	18	12	5	4	8	6	5	7	8	10	10	204	62,01	
Comunicación corta			1										1				1			0	3	0,91	
Avance de investigación	1		1														1			0	3	0,91	
Artículo pedagógico																	1	2		0	3	0,91	
Totales	14	16	15	16	25	16	26	24	16	28*	18	10	13	12	11	12	12	14	12	19	329	100	
No citables	4	5	2	2	1	1	2	1	1	4	4	2	2	2	1	2	1	2	1	3	43	13,07	

* Ese año se publicó adicionalmente un número especial con 8 artículos, con motivo de celebrarse el X aniversario de la revista.

Tabla 2. Número de citas recibidas por artículos publicados en *Avances en Química* al 28/04/2026. Consulta realizada con *Google Scholar*.

No.	Artículo	Citas
1	C Lárez. Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. 1(2) , 1-15 (2006)	237
2	MC Nevárez-Martínez <i>et al.</i> Fotocatálisis: inicio, actualidad y perspectivas a través del TiO ₂ . 12(2-3) , 45-59 (2017).	96
3	AG Martínez-Lopez <i>et al.</i> Alternativas actuales al manejo de lixiviados. 9(1) , 37-47 (2014).	64
4	DR Martínez, GG Carbajal. Hidróxidos dobles laminares: arcillas sintéticas con aplicaciones en nanotecnología. 7(1) , 87-99 (2012).	60
5	V Tkach <i>et al.</i> Descripción matemática de la síntesis electroquímica de polímeros conductores en la presencia de surfactantes. 8(1) , 9-15 (2013).	42
6	M Riera, R Palma. Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador. 13(3) , 69-78 (2018)	41
7	R Suarez, <i>et al.</i> Validación de un método analítico para la determinación de magnesio eritrocitario. 4(2) , 53-62 (2009).	40
8	P Chacón-Morales <i>et al.</i> Isolation and characterization of (+)-mellein, the first isocoumarin reported in Stevia genus. 8(3) , 145-151 (2013).	38
9	RD García. Instrumentos que revolucionaron la química: la historia del espectrofotómetro. 13(3) , 79-82 (2018)	38
10	C Cabello Alvarado <i>et al.</i> Cera de candelilla y sus aplicaciones. 8(2) , 105-110 (2013)	36
11	F Vargas, C Rivas, A Nursamaa, T Zoltan. Reacciones de radicales libres con relevancia biológica en la teoría del envejecimiento. 2(2) , 3-15 (2007).	27
12	L Veliz <i>et al.</i> Estudio de la hidrólisis del ion Niquel (II) y de la formación de los complejos de Niquel (II) con los ácidos Pícolínico y Dipicolínico en NaCl 1,0 mol. dm ⁻³ a 25 °C. 6(1) , 3-8 (2011)	27
13	1 artículo con 25 citas	25
14	1 artículo con 24 citas	24
15	1 artículos con 21 citas	21
16-17	2 artículos con 20 citas	40
18-19	2 artículos con 19 citas	38
20	1 artículo con 18 cita	18
21	1 artículo con 17 citas	17
22-25	4 artículos con 16 citas	64
26-27	2 artículos con 15 citas	30
28	1 artículo con 14 citas 1	14
29-31	3 artículos con 13 citas	39
32-34	3 artículos con 12 citas	36
35-36	2 artículos con 11 citas	22
37-40	4 artículos con 10 citas	40
41-50	10 artículos con 9 citas	90
51-55	5 artículos con 8 citas	40
56-72	17 artículos con 7 citas	119
73-81	9 artículos con 6 citas	54
81-101	20 artículos con 5 citas	100
102-114	13 artículos con 4 citas	52
115-141	27 artículos con 3 citas	81
142-172	31 artículos con 2 citas	62
173-204	32 artículos con 1 cita	32
205-329	125 artículos con 0 citas	0
Total	329 artículos (43 no citables)	1804





Estandarización del procedimiento analítico para la cuantificación colorimétrica del polisacárido de *Salmonella enterica* serovar Typhi utilizando el método de Hestrin

Felix Cardoso-San Jorge*, Elsa D Rey Contreras, Bárbara Baró-Vicet, Jean Pierre Soubal Mora, Raine Garrido Arteaga, Jessy Pedroso Fernández**, Sonsire Fernández Castillo, Yury Valdés Balbín

Instituto Finlay de Vacunas, La Habana, Cuba.

(*) fcardoso@finlay.edu.cu; (**) jpedroso@finlay.edu.cu

Recibido: 04/02/2026

Revisado: 09/03/2026

Aceptado: 23/04/2026

Resumen

Las vacunas conjugadas son una plataforma efectiva y eficiente contra bacterias encapsuladas como *S. pneumoniae*, *H. influenzae* tipo b, y *S. enterica* Typhi. Es fundamental cuantificar con precisión el polisacárido capsular, su principal antígeno. Para el polisacárido de *S. Typhi*, se estandarizó el método espectrofotométrico de Hestrin, que cuantifica los grupos O-acetilos. El método se evaluó rigurosamente demostrando ser específico, lineal (rango de 0,05 – 0,75 $\mu\text{mol/mL}$), exacto (recuperación sin diferencias significativas con respecto al 100 % de recuperación), y preciso en condiciones de repetibilidad y precisión intermedia. Este control metodológico garantiza la calidad en el desarrollo de vacunas.

Palabras claves: Espectrofotometría; Estandarización; Método Hestrin; *Salmonella*; Validación

Abstract

Standardization of the analytical procedure for the colorimetric quantification of the polysaccharide of *Salmonella enterica* serovar Typhi using the Hestrin method. Conjugate vaccines are an effective platform against encapsulated bacteria such as *S. pneumoniae*, *H. influenzae* type b, and *S. Typhi*. A safety quantification of the capsular polysaccharide as the main antigen is crucial. The Hestrin spectrophotometric method was standardized for the *S. Typhi* polysaccharide, which relies on quantifying O-acetyl groups. The technique was rigorously evaluated, proving to be specific, linear (in the range of 0.05–0.75 $\mu\text{mol/mL}$), accurate (recovery with no significant difference from 100 % recovery), and precise under repeatability and intermediate precision. This methodological control ensures quality in vaccine development.

Keywords: Spectrophotometry; Standardization; Hestrin Method; *Salmonella*; Validation.

Introducción

Salmonella enterica serovar Typhi (*S. Typhi*) es el agente causante de la fiebre tifoidea, una enfermedad infecciosa que afecta principalmente a países en vías de desarrollo, con una incidencia mundial estimada en aproximadamente 9 a 21 millones de casos anuales y una mortalidad que puede superar los 100,000 fallecimientos por año, especialmente en Asia y África (Garay et al., 2025; Liu et al., 2025; WHO, 2023). La transmisión ocurre a través del consumo de agua y alimentos contaminados con heces de pacientes enfermos o portadores crónicos, siendo la falta de acceso a agua potable y saneamiento adecuados factores cruciales para su propagación. *S. Typhi* es una bacteria Gram negativa encapsulada, cuyo principal factor de virulencia es el polisacárido capsular Vi (Robbins y Schneerson, 2008), un homopolímero lineal O-acetilado del ácido N-acetil-D-galactosaminurónico, que juega un papel fundamental en la evasión del sistema inmune y es la diana para el desarrollo de vacunas conjugadas que han mostrado eficacia en la prevención de la enfermedad (Liu et al., 2025).

La cuantificación precisa del polisacárido capsular Vi y de los

anticuerpos inmunoglobulina G (IgG) contra este antígeno es esencial para la evaluación de la inmunogenicidad y la eficacia de las formulaciones vacunales. Entre los métodos más empleados para esta cuantificación se encuentra el ensayo por inmunoadsorción ligado a enzimas (ELISA) indirecto, que se usa ampliamente para cuantificar anticuerpos IgG contra el polisacárido Vi e indirectamente refleja la cantidad y calidad del polisacárido en formulaciones vacunales. El ensayo inmunológico ELISA se valida mediante un proceso riguroso que incluye la evaluación de intervalos de linealidad, precisión intra e inter-ensayo, exactitud (recuperación), especificidad frente a otros antígenos, límite de detección y cuantificación, así como la robustez. La curva de calibración se construye con un suero estándar interno adecuado, y los coeficientes de variación obtenidos cumplen con criterios regulatorios ($\leq 10\%$ para precisión, $\leq 20\%$ para robustez y recuperaciones entre 90-110 %). Además, la especificidad del método es alta, discriminando correctamente sueros positivos de negativos (Espinosa-Viñals et al., 2015).

La cuantificación del polisacárido capsular Vi de *S. Typhi* tam-

bién se realiza a través de métodos espectrofotométricos, que sometidos a validaciones rigurosas aseguran resultados reproducibles, precisos y específicos para su aplicación en control de calidad y el desarrollo de vacunas. Estos métodos son mucho más rápidos, ventajosos y directos para ensayos rutinarios.

De los métodos espectrofotométricos el más utilizado es el método de Hestrin (1949), que cuantifica el polisacárido Vi mediante los grupos O-acetilos presentes en las moléculas, por lo que para su uso en la fase de investigación-desarrollo-producción de candidatos vacunales es preciso la estandarización-validación del procedimiento analítico (WHO, 2013; Quintana *et al.*, 2019), basado en este método demostrando la especificidad, sensibilidad y reproducibilidad necesarias en el control de calidad y evaluaciones analíticas, en el desarrollo de vacunas.

Parte experimental

Las proteínas Anatoxina diftérica (TD) y Albumina sérica humana (HSA) nativas disueltas en agua destilada, así como los polisacáridos capsulares de *Salmonella enterica* serovar Typhi (*S. Typhi*), los conjugados de los polisacáridos capsulares de *S. Typhi* a las diferentes proteínas (TD y HSA), fueron suministradas por el Grupo de Glicoconjugación de la Dirección de Investigaciones, el agua destilada (pH = 5,0-7,0, conductividad < 1,25 $\mu\text{s}/\text{cm}$) fue suministrada por el grupo de Servicios Críticos de la Dirección de Ingeniería, todos pertenecientes al Instituto Finlay de Vacunas (IFV). Los reactivos utilizados en el desarrollo del procedimiento analítico, bromuro de acetilcolina ($\text{C}_7\text{H}_{16}\text{BrNO}_2$) ($M = 226,12 \text{ g/mol}$) $\geq 98 \%$ p.s.), clorhidrato de hidroxilamina ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) ($M = 69,49 \text{ g/mol}$, > 99 % de pureza, p.a), hidróxido de sodio (NaOH) ($M = 40,0 \text{ g/mol}$, $\geq 97 \%$, p.a), ácido clorhídrico (HCl) ($M = 58,3 \text{ g/mol}$, densidad 1,19 Kg/L , 37-38 %, p.a), cloruro de hierro III hexahidratado ($\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ($M = 270,33 \text{ g/mol}$, 99-102 %, p.a). La dextrana (polisacárido con estructura $\text{Glc}(\alpha 1 \rightarrow 3)\text{-Glc}(\alpha 1 \rightarrow 6)\text{-Glc}(\alpha 1 \rightarrow 6)\text{-Glc}(\alpha 1 \rightarrow 6)\text{-Glc}$) (2000 Da), fue suministrada por Merck. Todos los reactivos y disoluciones fueron almacenadas y conservadas en las condiciones recomendadas por el fabricante, además fueron utilizadas en su período de vigencia.

Los equipos e insumos (balanzas analíticas, micropipetas, espectrofotómetro UV-visible, agitadores, entre otros) utilizados en la estandarización del procedimiento analítico fueron calibrados por el Grupo de Metrología de la Dirección de Aseguramiento de la Calidad del IFV. Para ello se basaron en los requisitos descritos en las normas ISO 17025 (ISO/IEC FDIS 17025:2017 (Norma Internacional ISO/IEC, 2017) y las normas cubanas de metrología y normalización de la serie NC.

Procedimiento analítico basado en el método de Hestrin⁶.

A un volumen de 1500 μL de agua destilada como blanco, se le adicionaron 250 μL de una disolución de ácido clorhídrico al 37 % en agua destilada 1:2 (v/v) y se agitó vigorosamente. Seguidamente, de conjunto con los tubos de ensayo que contienen un volumen de 1500 μL de muestra y disoluciones patrones de acetilcolina (bromuro de acetilcolina 0,75 $\mu\text{mol}/\text{mL}$) en el intervalo de concentraciones 0,05–0,75 $\mu\text{mol}/\text{mL}$, se le añadió

500 μL de una mezcla de disolución acuosa de hidroxilamina 2 mol/L y disolución acuosa de hidróxido de sodio 3,5 mol/L 1:1 (v/v), se agitó vigorosamente a medida que se adicionaron en los tubos, manteniendo en reposo durante 4 minutos a temperatura ambiente de 20-25 °C. Posteriormente, se adicionaron 250 μL de una disolución de ácido clorhídrico al 37 % en agua destilada 1:2 (v/v), a todos los tubos excepto al blanco. Se agitó vigorosa e inmediatamente. Por último, se adicionaron 250 μL de disolución de FeCl_3 0,74 mmol/L en HCl 0,2 mol/L a todos los tubos. Se agitó vigorosamente. Se midió la absorbancia en el espectrofotómetro UV-Visible marca Jenway 6705 (Alemania), a una longitud de onda de 540 nm.

Se determinó el valor de concentración de cada punto de la curva de calibración a partir de las absorbancias y se obtuvo un ajuste lineal a través de la ecuación: $y = mX + a$. La concentración de las muestras se calculó a partir de los valores de absorbancias mediante el método de mínimos cuadrados. Se promediaron los valores de las concentraciones ($\mu\text{mol}/\text{mL}$) obtenidas, cuyas absorbancias estuvieran dentro del rango de la curva de calibración y que su coeficiente de variación (CV) intraensayo fuera inferior al 5 % (Abreu-Vázquez *et al.*, 2025).

Para la estandarización del procedimiento analítico de cuantificación del polisacárido de *S. Typhi* descrito, se evaluaron los siguientes parámetros: especificidad, linealidad, exactitud y precisión (Parra *et al.*, 2021; CECMED, 2014).

Especificidad

Se realizó la evaluación del parámetro de especificidad utilizando el procedimiento descrito con muestras de polisacárido Vi natural de *S. Typhi*, conjugados de polisacárido Vi a las proteínas portadoras TD y HSA, a las proteínas portadoras utilizadas HSA, TD y a un polisacárido no relacionado (Dextrana) que carece de grupos O-acetilos en su estructura (CECMED, 2014; Walfish, 2006).

Linealidad

Para evaluar la linealidad se construyó una curva de calibración en el intervalo de 0,05–0,75 $\mu\text{mol}/\text{mL}$ de grupos O-acetilos, evaluando cada una de las concentraciones por cuadruplicado. Se calculó la ecuación de la recta, su coeficiente de correlación (r), el coeficiente de variación del factor respuesta (CV_f), la desviación estándar relativa de la pendiente (SDb_{rel}), así como se realizó la prueba de proporcionalidad para el intercepto (CECMED, 2014; Walfish, 2006; Borman y Elder, 2017; Dalal *et al.*, 2019).

Exactitud

El parámetro de exactitud se evaluó mediante un experimento de añadido-recobrado. A una muestra de polisacárido de *S. Typhi*, se le añadieron tres cantidades conocidas de acetilcolina (0,125; 0,250 y 0,375 μmoles) respectivamente, se calculó el recobrado y el porcentaje de recuperación se comparó mediante una prueba t de student con el 100 % de recuperación para un nivel de confianza del 95 % (Walfish, 2006).

Precisión

La precisión se evaluó en condiciones de repetibilidad (estudio intra-ensayo) y precisión intermedia (estudio inter-ensayo).

Para el estudio de repetibilidad, se realizó la determinación por sextuplicado de dos réplicas de una muestra de polisacárido de *S. Typhi*, por un mismo analista, en las mismas condiciones de día, laboratorio y equipamiento. Se calculó el coeficiente de variación expresado en porcentaje (CV (%)), comparándolos con el valor del coeficiente aceptado para metodologías basadas en métodos espectrofotométricos, que debe ser inferior al 3 % (Walfish, 2006; Borman y Elder, 2017).

Para el estudio de precisión en condiciones de precisión intermedia, se cuantificó dos réplicas de una muestra de polisacárido de *S. Typhi*, por tres analistas en cuatro días diferentes, en iguales condiciones de laboratorio y equipamiento (Walfish, 2006; Dalal *et al.*, 2019). Para demostrar su cumplimiento, se evaluó que no existieran diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos por los tres analistas durante los cuatro días mediante una comparación de las medias, utilizando la prueba estadística HSD de "Tukey" o "Diferencia Honestamente Significativa (HSD), para un 95 % de confianza.

Procesamiento de resultados

Para la realización de los cálculos, evaluación, procesamiento de los resultados y los parámetros de estandarización estudiados se empleó una hoja de cálculo en Microsoft Excel, versión 2016 (Microsoft, USA) y el programa STATGRAPHICS 5 plus versión 5.1 (StatPoint, Inc, USA).

Resultados y discusión

La estandarización y validación de los métodos analíticos juegan un papel fundamental en la investigación y el desarrollo de candidatos vacunales, ya que de estos procesos depende la obtención de resultados confiables, reproducibles y de alta calidad. Estos resultados son esenciales para evaluar con precisión los índices de calidad durante el desarrollo y evaluación de vacunas (Parra *et al.*, 2021; CECMED, 2014; Walfish, 2006; Borman y Elder, 2017).

En este estudio, el método analítico implementado se clasificó como un ensayo cuantitativo (Walfish, 2006; Borman y Elder, 2017) conforme a la clasificación de las agencias regulatorias de medicamentos, debido a que se trata de un análisis diseñado para cuantificar el contenido del polisacárido de *S. Typhi*, a partir de uno de los grupos funcionales presente en la molécula. La estandarización se diseñó con base en esta clasificación regulatoria, evaluando parámetros claves tales como especificidad, linealidad, precisión (intra-ensayo e inter-ensayo) y exactitud (CECMED, 2014; Walfish, 2006).

Se evaluó la especificidad del método mediante el análisis de muestras de polisacárido natural Vi y de conjugados de este polisacárido a TD y HSA, como proteínas portadoras, así como las proteínas portadoras utilizadas en la obtención de las glicoproteínas y de un polisacárido no relacionado que carece de grupos O-acetilos en su estructura como es la dextrana. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 1. Se observó que únicamente las muestras que contienen polisacárido Vi con grupos O-acetilos en su estructura reaccionaron químicamente con los reactivos del método de Hestrin (1949), mostrando concentraciones cuantificables. Por otro lado, en las muestras de proteínas portadoras y en el polisacárido no relacionado no se detectó señal analítica, lo que demuestra que el procedimiento es específico para los grupos O-acetilos, sin evidencia experimental de interferencias provenientes de las proteínas portadoras o del polisacárido carente de grupos O-acetilos.

Los espectros de absorción en el intervalo de longitudes de onda (λ) desde 400-700 nm que se muestran en la figura 1 corroboran los resultados reportados en la tabla 1, no observándose absorción de las muestras de la dextrana y la proteína toxoide diftérico (TD) y sí, para aquellas muestras de O-Acetilo, polisacárido natural Vi y de conjugados de este polisacárido a TD, que si presentan grupos O-Acetilo en su estructura.

El estudio de la linealidad de la curva de calibración dentro del rango de trabajo definido (0,05–0,75 $\mu\text{mol/mL}$), resultó satisfactorio. En la figura 2, se muestra el gráfico de la curva de calibración, observándose una función lineal. Además, la tabla 2 muestran todos los análisis estadísticos realizados, re-

Tabla 1. Procesamiento del estudio de la especificidad del procedimiento analítico.

Muestras	A ₁	A ₂	A ₃	A _M	C ₁ ($\mu\text{Mol/mL}$)	C ₂ ($\mu\text{Mol/mL}$)	C ₃ ($\mu\text{Mol/mL}$)
PsN Vi	0,116	0,116	0,117	0,116	2,368	2,368	2,389
	0,065	0,067	0,066	0,066	2,603	2,686	2,644
PsN Vi-HSA	0,146	0,149	0,150	0,148	11,983	12,234	12,318
	0,070	0,076	0,075	0,074	14,059	15,314	15,105
PsN Vi-TD	0,115	0,115	0,115	0,115	0,939	0,939	0,939
	0,061	0,070	0,066	0,066	0,974	1,125	1,049
HSA	0,005	0,003	0,008	0,005		ND	
TD	0,002	0,006	0,007	0,005		ND	
Dextrana	0,005	0,001	0,002	0,003		ND	

PsN Vi: Polisacárido natural *S. Typhi*, PsN Vi-HSA: conjugado Polisacárido natural *S. Typhi* a albumina sérica humana, PsN Vi-TD: conjugado Polisacárido natural *S. Typhi* a anatoxina diftérica, HSA: Albumina sérica humana, TD: anatoxina diftérica, A 1,2...n: Absorbancias de cada réplica, Am: Absorbancia media, C1, 2...n: Concentración de cada réplica, ND: No detectable.

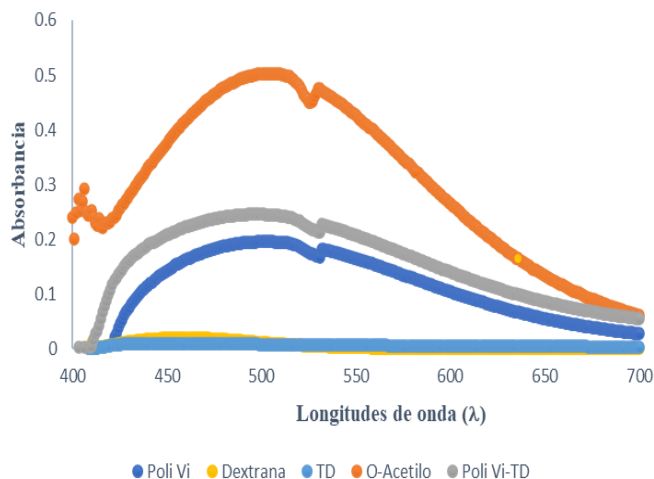


Fig. 1: Espectros de absorción (λ) 400-700 nm. naranja (O-Acetilato), gris (Poli Vi-TD), azul oscuro (Poli Vi), azul claro (TD), amarillo (Dextrana).

portando el cumplimiento de los criterios de aceptación establecidos para cada prueba. La ecuación de la curva de calibración obtenida fue $Y = 0,2472X + 0,0012$, con un coeficiente de correlación (r) de 0,9997, lo que indica una excelente relación lineal entre la concentración (Walfish, 2006; Borman y Elder, 2017) y la señal analítica.

Además, el coeficiente de variación del factor respuesta (CV_f) (absorbancia/concentración) fue del 4,93 %, reflejando una adecuada precisión del método en términos de variabilidad relativa. La desviación estándar relativa (SDb_{rel}) calculada fue del 0,69 %, demostrando la consistencia en las mediciones. Al aplicar la prueba de proporcionalidad del intercepto, el intervalo de confianza obtenido fue $[-0,0108; 0,0011]$, lo que sugiere que el intercepto no difiere significativamente de cero (Walfish, 2006; Borman y Elder, 2017), confirmando la proporcionalidad requerida para un método cuantitativo validado. Adicionalmente se demostró el cumplimiento de la ley de Beer-Lambert. Por tanto, podemos decir que el método desarrollado es lineal en el rango de concentraciones estudiadas (García Martínez, 2012).

El análisis estadístico de la media de los porcentajes de recobrado (97,79 %) proporcionó un valor p de 0,211858, superior

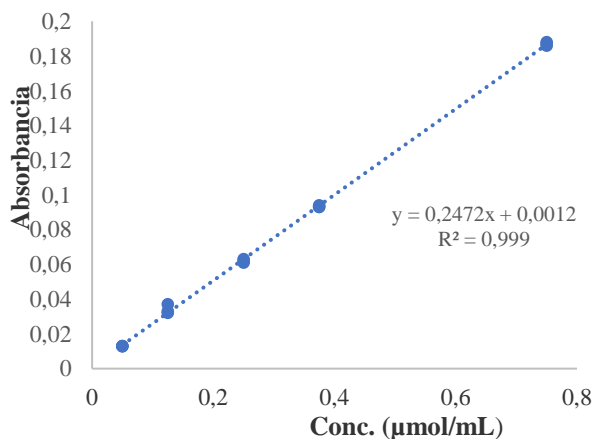


Fig. 2: Gráfico de la curva de calibración.

Tabla 2. Comparación de los resultados experimentales y los criterios de aceptación para el estudio de la linealidad del método de cuantificación de Hestrin.

Parámetros	Teórico	Experimental
Ecuación de la recta	$y = mX + a$	$Y = 0,2472X + 0,0012$
r	$\geq 0,99$	0,9997
CV_f	$\leq 5 \%$	4,93
SDb_{rel}	$\leq 2 \%$	0,69
Intercepto (a)	0 incluido en IC (a)	$[-0,0108; 0,0011]$

r : coeficiente de correlación, CV : coeficiente de variación del factor respuesta, SDb_{rel} : desviación estándar relativa de la pendiente, IC (a): intervalo de confianza del intercepto.

Los resultados del estudio de exactitud del procedimiento analítico se presentan en la tabla 3. Para evaluar la exactitud se realizó un experimento de añadido-recobrado, comparando los porcentajes promedio de recobrado obtenidos con el valor teórico del 100 % para un nivel de confianza del 95 %. En este contexto, se calcularon los porcentajes de recobrado para cada adición individual, así como el recobrado global considerando las tres adiciones, al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$). Por lo tanto, se puede plantear que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los recobros experimentales y el valor teórico del 100 %.

Los resultados obtenidos están en concordancia con estudios previos en la validación de métodos analíticos para vacunas y productos farmacéuticos, donde se han reportado porcentajes de recobrado entre 90 y 110 % considerados aceptables para métodos cuantitativos (Espinosa-Viñals *et al.*, 2015), por lo que podemos plantear que en las condiciones estudiadas el procedimiento es exacto.

Estos hallazgos respaldan la confiabilidad del método desarrollado para la cuantificación en estudios de candidatos vacunales, asegurando que los resultados obtenidos reflejan con fidelidad el contenido real del analito.

Tabla 3. Estudio de la exactitud del procedimiento analítico de Hestrin mediante un experimento de añadido recobrado.

μ moles muestra	μ moles añadidos	μ moles recobrados calculados	% recobrado	% recobro global
0,244	0,125	0,249	94,993	97,790
		0,236	94,993	
		0,265	94,993	
	media	94,993		
	0,250	0,425	93,848	
		0,444	98,999	
0,395		92,132		
media	94,993			
0,375	0,744	100,334		
	0,741	102,623		
	0,760	107,201		
media	103,386			

Los resultados de la evaluación de la precisión en condiciones de repetibilidad y precisión intermedia cumplen los criterios de aceptación preestablecidos (Walfish, 2006; Dalal *et al.*, 2019), los CV son inferiores al 3 % para la repetibilidad (tabla 4) y el estudio de la precisión en condiciones de precisión intermedia mediante la comparación de los resultados de concentración de polisacárido de *S. Typhi*, determinados por tres analistas durante cuatro días, utilizando la prueba estadística HSD de "Tukey", realizado a un nivel de confianza del 95 % (figura 3), indicó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los análisis realizados, por lo que podemos plantear con un 95 % de confianza que las variables estudiadas (analistas y días de ensayo) no incidieron negativamente en el estudio de precisión en condiciones de precisión intermedia. Los valores medios de concentración de polisacárido de *S. Typhi*, fueron muy similares (0,884, 0,889 y 0,903) y las diferencias entre pares de analistas estuvieron dentro de los límites críticos ($\pm 0,0435$), lo que refleja una alta reproducibilidad y consistencia inter-analista. Estos resultados sustentan la robustez y fiabilidad del método analítico empleado, demostrando que la variabilidad atribuible al operador es mínima y no afecta la precisión del procedimiento. Se puede destacar que la ausencia de diferencias significativas entre analistas respalda la validez y

confiabilidad del procedimiento analítico, un requisito importante en el contexto regulatorio para métodos utilizados en desarrollo y control de vacunas, donde la estandarización y reproducibilidad entre operadores deben estar garantizadas.

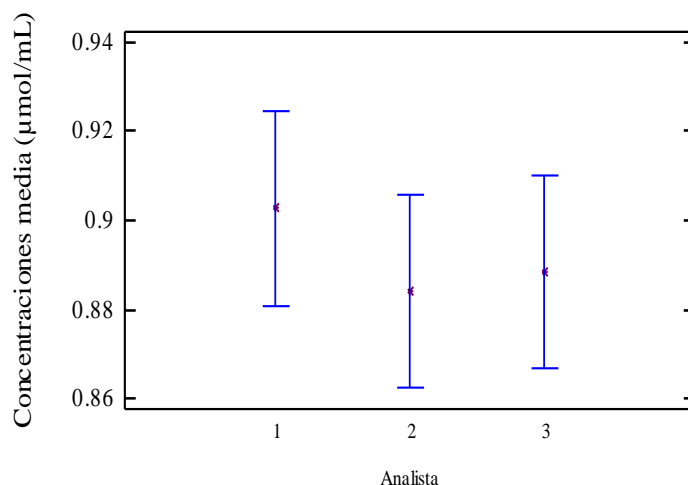


Fig. 3: Resultado del estudio de precisión intermedia del procedimiento analítico de cuantificación por el método de Hestrin comparando los resultados obtenidos por tres analistas en cuatro días consecutivos, utilizando la prueba estadística HSD de "Tukey".

Tabla 4. Estudio de precisión en condiciones de repetibilidad para el método de cuantificación de Hestrin

		Repeticiones						SD	C _{Media} (µmol/mL)	CV (%)
		1	2	3	4	5	6			
Réplica 1	C ₁ (µmol/mL)	0,789	0,803	0,789	0,817	0,796	0,796	0,023	0,804	2,81
	C ₂ (µmol/mL)	0,831	0,761	0,789	0,817	0,811	0,826			
	C ₃ (µmol/mL)	0,831	0,817	0,831	0,803	0,752	0,811			
Réplica 2	C ₁ (µmol/mL)	0,789	0,782	0,803	0,775	0,834	0,804	0,023	0,798	2,89
	C ₂ (µmol/mL)	0,789	0,768	0,803	0,789	0,849	0,841			
	C ₃ (µmol/mL)	0,782	0,810	0,782	0,810	0,782	0,782			
General (medias)							0,023	0,801	2,83	

C_{1...m}: concentración, C_m: concentración media (µmol/mL), SD: desviación estándar, CV: coeficiente de variación.

Conclusiones

Mediante el diseño de experimentos propuesto para la estandarización de un procedimiento analítico basado en el método de Hestrin, se demostró que, en las condiciones del estudio, el procedimiento es específico para grupos O-acetilos presentes en el polisacárido Vi de *Salmonella enterica* serovar Typhi, tanto libres como formando glicoproteínas. El intervalo de concentraciones estudiado resultó ser lineal, las evaluaciones realizadas demostraron que el procedimiento fue exacto y preciso en condiciones de repetibilidad y precisión intermedia.

El cumplimiento de estos criterios de estandarización es esencial para la aceptación regulatoria y la aplicación confiable de métodos en el control de calidad y desarrollo de vacunas, asegurando que los resultados generados sean consistentes y comparables sin importar el analista ejecutor. Este nivel de control metodológico contribuye a la reproducibilidad científica y la

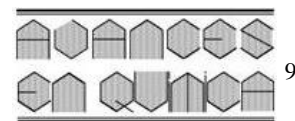
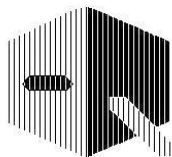
confianza en los datos obtenidos durante el desarrollo de candidatos vacunales.

Conflicto de intereses. Los autores no declaran conflictos de intereses.

Roles de autoría. Félix Cardoso-San Jorge participó en la conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, visualización, redacción (borrador original) y revisión/edición; Elsa D Rey Contreras participó en la investigación, visualización; Bárbara Baró-Vicet curación de datos, investigación y visualización; Jean P. Soubal-Mora participó en la investigación, visualización; Raine Garrido Arteaga participó en la conceptualización, en la investigación, visualización; Jessy Pedroso-Fernández participó en el análisis formal, metodología, redacción (borrador original), revisión y visualización; Sonsire Fernández-Castillo participó en la conceptualización, en la investigación y visualización; Yury Valdés Balbín participó en la conceptualización, en la investigación y visualización. Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final de este manuscrito.

Referencias

- Abreu-Vázquez, J. C., Pérez-Herrera, J. Z., & Merchán-Miliá, A. Y. (2025). Validación del método colorimétrico de bifenilo para la determinación del contenido de carbohidratos en el polisacárido capsular de *Streptococcus pneumoniae* serotipo 5. *VacciMonitor*, 34. <https://vaccimonitor.finlay.edu.cu/index.php/vaccimonitor/article/view/9245>
- Borman, P., & Elder, D. (2017). Q2 (R1) validation of analytical procedures: text and methodology. ICH quality guidelines: an implementation guide, 127-166. <https://doi.org/10.1002/9781118971147.ch5>
- CECMED (Centro para el Control Estatal de Medicamentos, Equipos y Dispositivos Médicos de Cuba). (2014). Resolución CECMED No. 40/2014: Anexo No. 1 de las Buenas Prácticas para Laboratorios de Control de Medicamentos, Validación de Métodos Analíticos. La Habana: CECMED; 2014. <https://www.cecmeced.cu/reglamentacion/aprobadas/resolucion-cecmeced-40> Consultado: 21/04/2025.
- Dalal, J., Rana, R., Harale, K., Hanif, S., Kumar, N., Singh, D., & Chhikara, M. K. (2019). Development and pre-clinical evaluation of a synthetic oligosaccharide-protein conjugate vaccine against *Neisseria meningitidis* serogroup C. *Vaccine*, 37(36), 5297-5306. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2019.07.053>
- Espinosa-Viñals, C., Soroa-Millán, Y., Martín-García, Y., Pérez-Baños, A., Nicot-Valenciano, M., Rodríguez-Noda, L *et al.* (2015). Validación y aplicación de un ELISA para la cuantificación de anticuerpos IgG contra polisacárido capsular Vi de *Salmonella Typhi*. *VacciMonitor*, 24(1), 21-32. <https://vaccimonitor.finlay.edu.cu/index.php/vaccimonitor/article/view/13>
- Garay, J. J. G., Rodríguez, E. W. M., & Rosales, D. D. R. (2025). Epidemiología de casos sospechosos de fiebre tifoidea de 2020 a 2022. *Alerta, Revista científica del Instituto Nacional de Salud*, 8(2), 171-176. DOI: <https://doi.org/10.5377/alerta.v8i2.19199>
- García Martínez, E. M. (2012). Aplicación de la ley de Lambert-Beer en espectroscopía UV-visible. <https://riunet.upv.es/handle/10251/16360>
- Hestrin, S. (1949). The reaction of acetylcholine and other carboxylic acid derivatives with hydroxylamine, and its analytical application. *Journal of Biological Chemistry*, 180(1), 249-261. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)56740-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)56740-5)
- Liu, G., Zhang, X., Cao, Q., Chen, T., Hu, B., & Shi, H. (2025). The global burden of typhoid and paratyphoid fever from 1990 to 2021 and the impact on prevention and control. *BMC Infectious Diseases*, 25(1), 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12879-025-11223-8>
- Norma Internacional ISO/IEC 17025:2017. (2017). Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Tercera edición 2017-11. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/30679ef7-3744-4e68-8a8d07e8c2af1c1e/iso-iec-17025-2017>
- Parra TV, Carballo CRR, Torres GR (2021). Validación de un método analítico para la valoración del inyectable liofilizado Amfotericina B. *Revista Cubana de Farmacia*, 54(3). <http://revfarmacia.sld.cu/index.php/far/article/view/633/427>
- Quintana, G., Rondón, M., & Regnault, M. (2019). Validación de un método analítico para la determinación de timerosal en vacunas por espectrofotometría visible. *Revista de la Facultad de Farmacia*, 82(1 y 2), 79-96. http://levinfogobierno.ucv.ve/ojs/index.php/rev_ff/article/view/17065 Consultado: 21/04/2025
- Robbins JB, Schneerson R. (2008). Conjugate vaccines for bacterial capsular polysaccharides. En: *Vaccines*. 5th ed. (pp. 577–92) Elsevier.
- Walfish, S. (2006). Analytical methods: a statistical perspective on the ICH Q2A and Q2B guidelines for validation of analytical methods. *BioPharm International*, 19(12), 1-6. <https://www.biopharminternational.com/view/analytical-methods-statistical-perspective-ich-q2a-and-q2b-guidelines-validation-analytical-methods>
- WHO (World Health Organization). (2023). Fiebre tifoidea. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/typhoid> Consultado: 26/08/2025.
- WHO (World Health Organization). (2013). Guidelines on the quality, safety and efficacy of typhoid conjugate vaccines. Disponible en: <https://www.who.int/publications/m/item/typhoid-conjugate-vaccines-annex-3-trs-no-987> Consultado: 26/08/2025



Impacto del uso de generadores durante la crisis energética en el centro histórico de Cuenca-Ecuador

Ana Lucía Astudillo Alemán, Lorena Hortencia González Espinoza,
Mónica Alexandra Narváez Vera, Diana Lucía Moscoso Vanegas*

Centro de Estudios Ambientales (Grupo CATOx-CEA), Departamento de Química Aplicada y Sistemas de Producción, Facultad de Ciencias Químicas, University of Cuenca, Cuenca, Ecuador

(*) diana.moscoso@ucuenca.edu.ec

Resumen

Durante la crisis energética en Ecuador se recurrió al uso de generadores de combustión interna en el centro histórico de Cuenca, posiblemente impactando la calidad del aire y el ruido urbano. En este estudio se evaluó la calidad del aire y el nivel de presión sonora durante esa época. Para ello se determinaron las concentraciones de partículas PM₁₀, PM_{2,5} y gases NO₂, O₃, SO₂ y CO en once puntos, mediante una estación Cairnet y un sonómetro integrador marca TESTO-135, registrándose además el flujo vehicular. Los resultados mostraron concentraciones de PM_{2,5} y PM₁₀ superiores a los límites de la OMS, registrándose los máximos en el punto 2 con 50,91 ug/m³ y 72,7 ug/m³, respectivamente. Los niveles de ruido oscilaron entre 72,37 y 85,91 dB (A), superando los 50 dB (A) establecidos en la ordenanza municipal. De esta manera, se determinó que el uso de generadores de combustión interna y el elevado tráfico vehicular durante la crisis energética en el centro histórico de Cuenca contribuyó al deterioro de la calidad del aire y aumentó la contaminación sónica, evidenciándose la necesidad de implementar regulaciones para el control y monitoreo continuo durante el uso de este tipo de equipos.

Palabras clave: aire; contaminación; generadores de combustión interna; ruido.

Abstract

Impact of generator use during the energy crisis in the historic center of Cuenca, Ecuador. During the energy crisis in Ecuador, the historic center of Cuenca resorted to the use of internal combustion generators, possibly impacting the quality of the air and the urban street. In this study the quality of the air and the level of sound pressure were evaluated during this period. The concentrations of particles PM₁₀, PM_{2,5} and gases NO₂, O₃, SO₂ and CO were determined at once points, using a Cairnet station and an integrated sound meter brand TESTO-135, also recording the vehicular flow. The results showed concentrations of PM_{2,5} and PM₁₀ higher than the WHO limits, recording the maximum in point 2 with 50,91 ug/m³ and 72,7 ug/m³, respectively. The noise levels oscillated between 72,37 and 85,91 dB (A), exceeding the 50dB (A) established by municipal ordinance. In this way, it was determined that the use of internal combustion generators and the high vehicular traffic during the energy crisis in the historic center of Cuenca contributed to the deterioration of air quality and increased sonic contamination, highlighting the need to implement regulations for continuous control and monitoring during the use of this type of equipment.

Keywords: Air; Pollution; Internal combustion generators, Noise.

Introducción

Recientemente, Sudamérica ha registrado una de las sequías más severas, lo que ha derivado en una reducción crítica del caudal de los cuerpos de agua. Este fenómeno ha comprometido la generación hidroeléctrica, principal matriz energética del Ecuador (Campozano et al., 2020; Carvajal y Li, 2019; Oxford Analytica, 2024), lo que ha provocado interrupciones en el suministro eléctrico, con cortes de energía registrados durante 2023 y 2024 (Zalakeviciute et al., 2024; Zalakeviciute et al., 2025).

Como respuesta a esta crisis energética, la mayoría de las actividades del sector urbano han recurrido al uso de generadores alimentados con combustibles fósiles como método alternativo para suplir la demanda energética (Al-Hallak et al., 2024; Jack y & Jack, 2022; Terrapon et al., 2020). Esta solución temporal, aunque necesaria ante la inestabilidad del sistema eléctrico, ha

traído consigo impactos ambientales, entre ellos aumento en las concentraciones de contaminantes atmosféricos como dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO) y material particulado (Farquharson et al., 2018; Husain, 2024; Vallejo et al., 2025), así como un incremento significativo en los niveles de presión sonora urbana (Giwa et al., 2019; Nwabueze et al., 2024).

Estos impactos suelen atribuirse a factores vinculados al aumento del flujo vehicular, alta densidad poblacional y ausencia de circulación de aire (World Bank & IHME, 2016), y derivan en daños negativos en el sistema respiratorio, cardiovascular y neurológico (Carvajal y Li, 2019; Casey et al., 2020; Oguntoké y Adeyemi, 2017). Asimismo, el ruido constante producido por generadores incrementa los niveles de intensidad sonora, superando ampliamente los estándares recomendados, favoreciendo la aparición de problemas de sueño, tensión persistente

y una merma en las capacidades mentales (Giwa et al., 2021; Karki et al., 2024; Mohammed y Rabeea, 2021).

A pesar de la creciente dependencia de los generadores como medida de urgencia, son pocas las investigaciones que miden sus efectos sobre el entorno en las ciudades latinoamericanas. Esto resulta particularmente cierto en áreas de valor cultural, como los cascos antiguos. Es fundamental estudiar estas consecuencias no sólo para entender los peligros relacionados con la atmósfera y el ruido, sino también para fundamentar decisiones de gobierno que aseguren un abastecimiento de energía firme y en armonía con la naturaleza. En este marco, la investigación busca examinar las repercusiones en el medioambiente del uso de plantas eléctricas durante la crisis de suministro de 2024 en el casco histórico de Cuenca, la tercera ciudad andina más poblada de Ecuador, con una elevada fragilidad tanto social como ambiental.

A diferencia de investigaciones anteriores donde el objetivo principal fue evaluar el impacto de la circulación vehicular sobre los niveles de presión sonora y la contaminación por gases al

aire ambiente, el presente estudio examina la influencia conjunta del empleo masivo de generadores eléctricos y el desplazamiento en las ciudades dentro de un marco de escasez de energía reciente.

Parte experimental

Área de estudio

La zona de estudio corresponde al centro histórico del cantón Cuenca, en la provincia del Azuay, al sur del Ecuador (figura 1).

Puntos de monitoreo

La selección de los puntos de monitoreo se estableció en función de la programación de los racionamientos eléctricos oficiales, asegurando una cobertura espacial representativa del centro histórico de Cuenca. El monitoreo se realizó los días 19 y 20 de noviembre de 2024, en los horarios que se detallan en la tabla 1, así como las respectivas coordenadas de los 11 puntos de estudio.

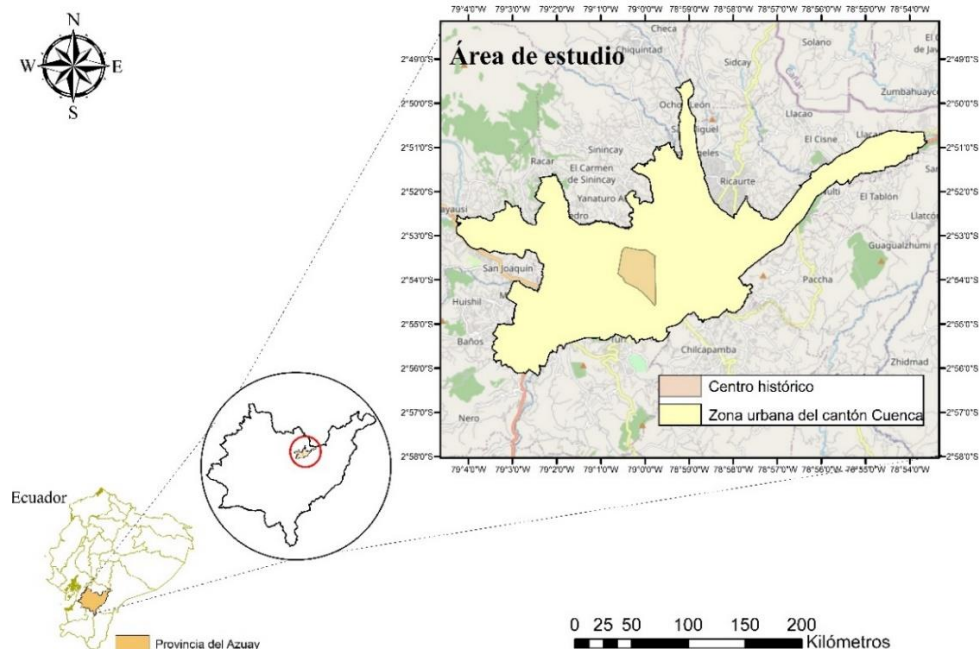


Fig. 1. Área de estudio.

Tabla 1. Localización de los sitios de medición.

Punto	Dirección	Horario	Coordenadas	
			X	Y
P1	Mariscal Sucre y Tarqui	07:45 – 08:15	717898,23	9681176,22
P2	Mariscal Sucre entre Padre Aguirre y General Torres	08:28 – 08:58	719844,4	9681265,02
P3	Padre Aguirre entre Simón Bolívar y Sucre	09:05 – 09:35	721821,22	9681200,13
P4	Padre Aguirre y Simón Bolívar	09:42 – 10:12	720006,00	9680370,00
P5	Simón Bolívar entre Benigno Malo y Padre Aguirre	10:16 – 10:46	718338,00	9680312,00
P6	Simón Bolívar entre Benigno Malo y Luis Cordero	10:49 – 11:19	725497,12	9681193,63
P7	Luis Cordero entre Gran Colombia y Simón Bolívar	11:19 – 11:49	727690,29	9681158,98
P8	Gran Colombia entre Benigno Malo y Padre Aguirre	15:18 – 15:48	723642,52	9680521,02
P9	Padre Aguirre y Gran Colombia	15:51 – 16:21	72167,00	9680122,00
P10	Gran Colombia entre Benigno Malo y Luis Cordero	16:30 – 17:00	717986,54	9678656,89
P11	Presidente Borrero entre Mariscal Sucre y Simón Bolívar	17:09 – 17:39	717984,94	9677735,24

Recolección de datos

Las concentraciones de contaminantes como material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO), se determinaron mediante un monitoreo continuo de 30 minutos para cada punto. Para la recolección de datos se utilizó una estación portátil Cairmet, equipada con sensores electroquímicos y ópticos en miniatura Cairsens, diseñados para la medición en tiempo real de múltiples parámetros de calidad del aire. La descarga, visualización y gestión de los datos se realizó a través de la plataforma en línea Caircloud.

Durante las mediciones, se realizó un conteo vehicular, clasificándolos en tres categorías: vehículos pesados, livianos y motocicletas para obtener la densidad vehicular en cada punto de monitoreo. Por otra parte, para la determinación de los niveles de presión sonora se empleó un Sonómetro Integrador Marca TESTO 1358, y se aplicó la metodología establecida en el Anexo V del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente.

Procesamiento de datos

Para estimar la distribución espacial de los contaminantes atmosféricos y la densidad vehicular en el área de estudio, se aplicó el método de interpolación Inverse Distance Weighting (IDW) mediante el software ArcGIS 10.5.

Resultados y discusión

Densidad vehicular

El conteo de vehículos efectuado en cada uno de los puntos de monitoreo logró identificar la distribución de la circulación en el área céntrica de Cuenca, tabla 2. Se evidenció un predominio de automóviles ligeros respecto al transporte pesado y las motos.

Además, el 45 % de los puntos de estudio, registran una circulación vehicular superior a 170 vehículos livianos durante los 30 minutos de medición. El punto 4 correspondiente a la calle Padre Aguirre y Simón Bolívar muestra el máximo de

circulación con un total de 245 vehículos livianos, sin embargo, el sitio con menor circulación es la calle Padre Aguirre entre Simón Bolívar y Sucre con 28 vehículos livianos. Para el caso de los vehículos pesados el sitio con mayor flujo se localizó en el punto 1 correspondiente a la calle Mariscal Sucre y Tarqui, con 14 vehículos, la cual se caracteriza por ser una de las principales rutas de conectividad entre los sectores del sur y norte de la Ciudad, atravesando este punto el 22 % de las líneas de transporte urbano. Para el caso de las motocicletas el sitio con mayor flujo fue la calle Presidente Borrero entre Mariscal Sucre y Simón Bolívar con un total de 80.

Es importante destacar que el horario en el que se registró el flujo vehicular, tabla 2; estuvo condicionado por el horario de planificación de los cortes de energía, a pesar de ello se pudo evidenciar que el centro de la ciudad resultó ser un indicador de su uso como núcleo de comercio, administración y turismo

Niveles de ruido

Pese a que la normativa para zonas comerciales establece un umbral diurno de 60 dB (A), todos los puntos excedieron el límite de manera significativa, alcanzando niveles superiores a los 85 dB (A) en sectores críticos como el punto 7 (Luis Cordero entre Gran Colombia y Simón Bolívar) y el punto 9 (Padre Aguirre y Gran Colombia), donde se registraron niveles de 85,99 y 85,95 dB (A) respectivamente (figura 3). Estos resultados coinciden con lo reportado por Tacuri et al. (2016), quienes documentaron niveles de presión sonora entre 75 y 80 dB (A) en la calle Mariscal Lamar, también en el centro histórico de Cuenca, atribuidos principalmente al tráfico vehicular. Concordando con Barcos et al. (2022), quienes encontraron que los niveles de ruido asociados al uso de generadores eléctricos en zonas comerciales, como las avenidas Quito y 9 de Octubre en Guayaquil, superan de forma constante el umbral permitido según la normativa ecuatoriana, generando riesgos para la salud pública, como trastornos auditivos, del sueño y cardiovasculares.

De manera similar, en otros contextos con suministro eléctrico deficiente, como Nigeria, se ha documentado el impacto acústico asociado al uso de generadores de diésel, con niveles de ruido que oscilan entre 72,6 y 115,6 dB (A), superando ampliamente los límites recomendados y representando un problema ambiental y de salud pública. Además, el uso intensivo de generadores a gasolina en ese país generó niveles de entre 60,2 y 91,8 dB (A), los cuales aumentan con la antigüedad y capacidad del equipo, lo que refuerza su rol como fuente relevante de contaminación acústica (Nwabueze et al., 2024).

En conjunto, estos hallazgos subrayan la necesidad de establecer medidas de control y regulación del uso de generadores eléctricos en entornos urbanos densamente poblados, especialmente en zonas comerciales, donde su impacto acumulativo compromete tanto la salud pública como la calidad

Tabla 2. Conteo vehicular.

Ubicación	Conteo vehicular		
	Livianos	Pesados (buses y camiones)	Motos
P1	179	14	55
P2	193	1	49
P3	28	0	8
P4	245	2	23
P5	141	0	20
P6	175	1	19
P7	120	0	12
P8	132	2	11
P9	98	3	10
P10	122	0	24
P11	175	0	81

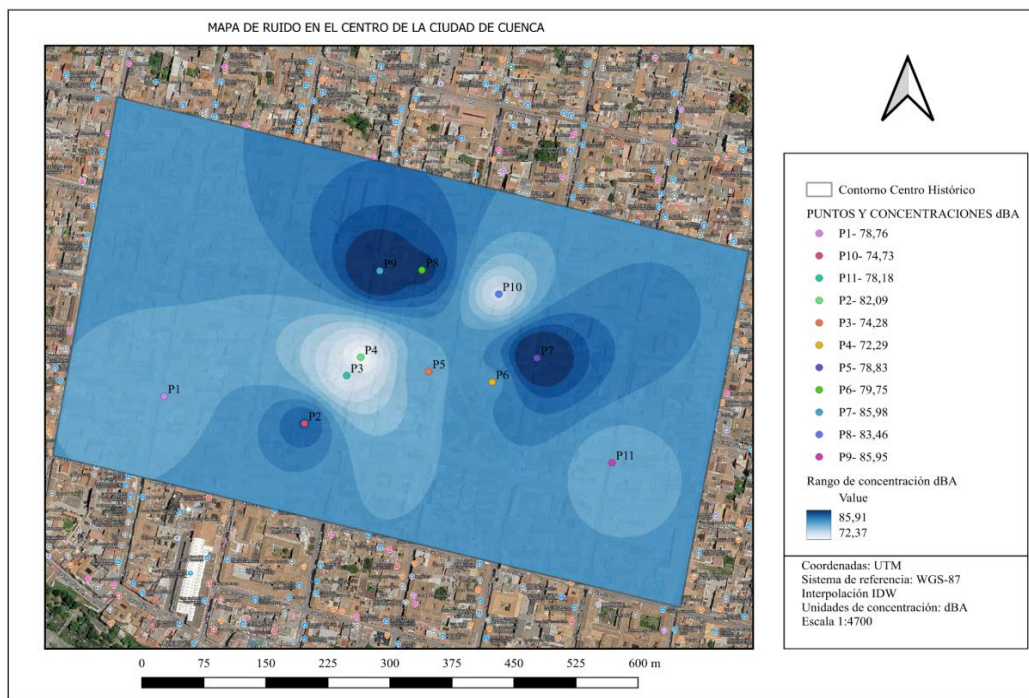


Fig. 3: Niveles de ruido en el centro histórico del cantón Cuenca.

ambiental. Así, los generadores deben considerarse una fuente relevante de contaminación acústica, cuyas repercusiones afectan no solo al bienestar de la población, sino también a la habitabilidad y funcionalidad de los espacios urbanos (Mohammed y Rabeea, 2021; Azodo et al., 2018).

Material particulado

PM_{2,5}

El 9 % de los sitios de estudio excedieron el límite máximo permisible establecido en el Anexo IV del Libro VI del TULSMA, sin embargo, el 81 % de los sitios superaron el límite dado por la OMS, registrándose una concentración máxima de 50,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto 2 MSPG (Mariscal Sucre entre Padre Aguirre y General Torres). Diversos estudios han demostrado que el material particulado no solo compromete la salud respiratoria, sino también representa un riesgo para la salud cerebral, al estar vinculado con deterioro cognitivo, alteraciones conductuales y enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer (Austin et al., 2019; Cacciottolo et al., 2017). En el contexto del centro histórico de Cuenca, las características urbanas, como la estrechez de las calles, la escasa ventilación, pueden intensificar la acumulación de contaminantes debido al llamado “efecto cañón urbano” (World Bank & IHME, 2016). Otras investigaciones reportaron concentraciones para PM_{2,5} de hasta 4,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en esta zona céntrica, atribuyendo estos niveles a la configuración arquitectónica de callejones angostos con limitada circulación de aire (García et al., 2018). Estos resultados coinciden con lo reportado en un estudio realizado en Quito, donde se observó una alta variabilidad espacial de PM_{2,5} con concentraciones que superan los 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en todos los distritos de la ciudad. Si bien durante el confinamiento de 2020 se registraron reducciones atribuibles a la disminución de la actividad local, los niveles

volvieron a incrementarse en 2024, en paralelo con los apagones prolongados (Zalakeviciute et al., 2025). Sin embargo, otra investigación reporta concentraciones similares al estudio en el centro histórico de la ciudad, durante un monitoreo continuo de 24 horas (Narváez et al., 2020).

Según la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (Libro VI, Anexo IV del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente) el promedio aritmético de monitoreo continuo de PM_{2,5} durante 24 horas, no deberá exceder de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda no superar los 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio diario. En este estudio, los puntos de monitoreo ubicados en Mariscal Sucre y Tarqui, así como en Mariscal Sucre entre Padre Aguirre y General Torres, registraron concentraciones que, pese al corto periodo de muestreo (30 minutos), ya superan el valor recomendado por la OMS (figura 3(a)). Llama la atención el aumento significativo de este contaminante respecto al reportado en estudios previos a la crisis energética, lo cual sugiere que el uso intensivo de generadores a diésel ha contribuido al incremento de partículas finas (PM_{2,5}) las cuales están asociadas con un mayor riesgo de cáncer. En este contexto es imperante la necesidad de implementar estrategias energéticas sostenibles, especialmente en contextos urbanos de países de ingresos bajos y medios (Al-Hallak et al., 2024).

PM₁₀

De acuerdo con la normativa ecuatoriana de calidad del aire ambiente, la concentración promedio de PM₁₀, obtenido mediante monitoreo continuo durante un periodo de 24 horas, no debe superar los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece como límite 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 24 horas. En este estudio, el comportamiento del PM₁₀

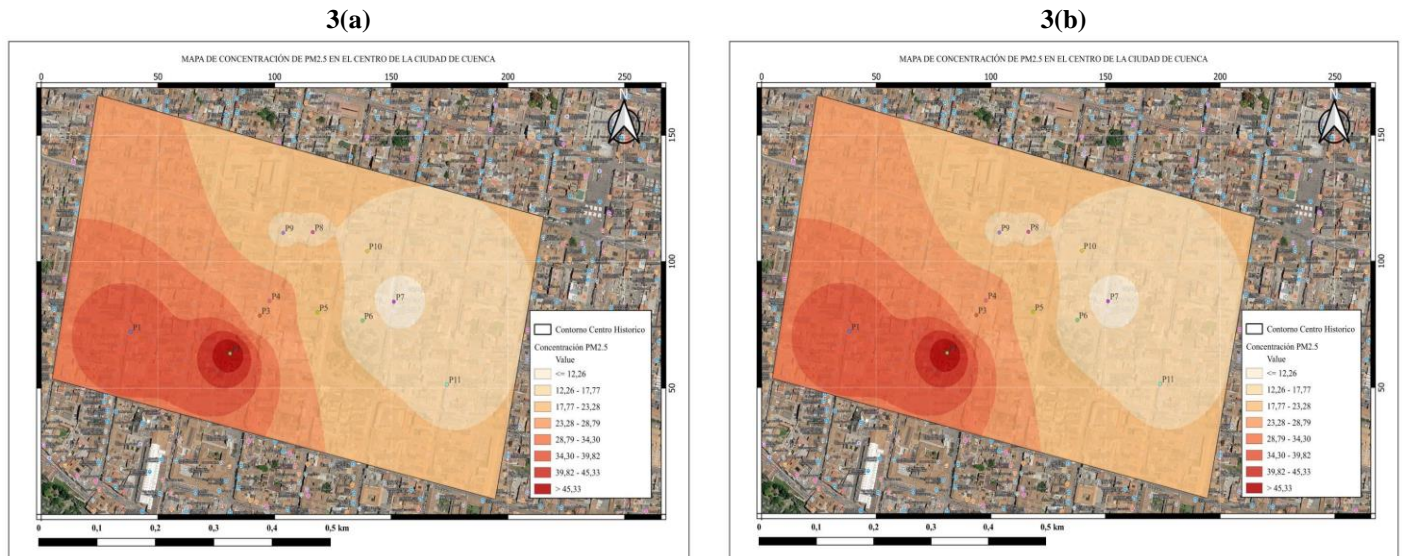


Fig. 3: Distribución de PM: (a) 2.5, (b) 10

refleja una tendencia similar a la observada en el PM_{2,5}, registrando las mayores concentraciones los puntos 1 y 2. Estos hallazgos coinciden con reportes en otras ciudades ecuatorianas como Quito, donde se observaron incrementos significativos en los niveles de PM₁₀ durante los apagones de 2023 y 2024¹¹. De manera similar, en contextos internacionales como Santiago de Chile y Nueva Delhi, las crisis energéticas han derivado en concentraciones elevadas de material particulado, asociadas al uso intensivo de generadores eléctricos y al tráfico vehicular (Anderson et al., 2017).

Las concentraciones registradas para PM₁₀ en el centro de la ciudad de Cuenca oscilaron entre 10,83 µg/m³ y 72,77 µg/m³ (figura 3(b)). Otra investigación reporta en el centro histórico concentraciones de 93,80 µg/m³, para un monitoreo continuo de 24 horas (Astudillo et al., 2015), cabe resaltar que estas concentraciones no son directamente comparables por el tiempo de monitoreo.

Distribución de CO, NO₂, SO₂ y O₃

La distribución de concentraciones de monóxido de carbono (CO) en el centro histórico, se presenta en la figura 4(a). Las mayores concentraciones se observan en los puntos: 2 (Mariscal Sucre entre Padre Aguirre y General Torres) con 22912,06 µg/m³, punto 3 (Padre Aguirre entre Simón Bolívar y Sucre) con 15713,31 µg/m³, punto 7 (Luis Cordero entre Gran Colombia y Simón Bolívar) con 21962,10 µg/m³, punto 8 (Gran Colombia entre Benigno Malo y Padre Aguirre) con 22197,87 µg/m³ y punto 9 (Padre Aguirre y Gran Colombia) con 15821,85 µg/m³.

De acuerdo con el Anexo IV del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, la concentración máxima permisible de CO en un intervalo de una hora es de 30000 µg/m³. No obstante, dado que el presente monitoreo se realizó durante un periodo de 30 minutos, los resultados no son directamente comparables con dicho um-

bral normativo, aunque permiten identificar puntos críticos y establecer una referencia preliminar sobre la calidad del aire en la zona durante el funcionamiento de los generadores.

El empleo del uso de generadores a diésel durante los cortes de energía eléctrica incrementó las emisiones atmosféricas a nivel global, debido a su baja eficiencia (Farquharson et al., 2018; Shakya et al., 2022). Adicionalmente, diversos estudios han señalado que el empleo de generadores a carbón y gasolina en espacios interiores representa un riesgo significativo de intoxicación por monóxido de carbono (CO). Los efectos más comunes incluyen dolor de cabeza, náuseas, vómitos, mareos, pérdida de consciencia e incluso la muerte (Casey et al., 2020; Johnson-Arbor et al., 2014).

Por otro lado, para el dióxido de nitrógeno (NO₂), en la figura 4(b) se muestran los puntos que registran las mayores concentraciones, entre ellos el punto 5 (Simón Bolívar entre Benigno Malo y Padre Aguirre) con 89,78 µg/m³, punto 6 (Simón Bolívar entre Benigno Malo y Luis Cordero) con 68,16 µg/m³, y punto 7 (Luis Cordero entre Gran Colombia y Simón Bolívar) con 63,13 µg/m³. En la normativa se establece que la concentración máxima en 1 hora no deberá exceder los 200 µg/m³, si bien la comparación directa con la normativa es limitada por la duración del monitoreo, los niveles registrados evidencian una tendencia preocupante en ciertos sectores. Estudios previos realizados en 2018 en el centro histórico de Cuenca reportaron una distribución espacial de NO₂ con patrones de anillos concéntricos, registrando concentraciones (Cobos et al., 2019) entre 24,11 y 29,1 µg/m³. En contraste, los resultados del presente estudio evidencian un incremento significativo en los niveles de NO₂, lo cual puede atribuirse al impacto de los cortes de energía y al uso generalizado de generadores como fuente alternativa de electricidad en la zona.

La evidencia disponible para el contexto ecuatoriano indica que, durante la crisis hidroeléctrica inducida por condiciones

climáticas en la primavera de 2024, el uso extendido de generadores de emergencia contribuyó significativamente al incremento de contaminantes atmosféricos como CO, NO₂ y SO₂, particularmente en zonas urbanas como Quito (Zalakeviciute et al., 2024). Asimismo, se destaca que el uso intensivo de generadores en mercados, comercios y actividades informales, sumado al tráfico vehicular constante, contribuye al aumento de las concentraciones de NO₂, consolidándose como uno de los contaminantes más relevantes en estos entornos (Vallejo et al., 2025).

En relación con el dióxido de azufre (SO₂), el Anexo IV del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente establece un límite máximo de 500 µg/m³ para periodos de 10 minutos. Si bien el monitoreo realizado corresponde a intervalos de 30 minutos, lo que impide una comparación directa con dicho umbral, los valores registrados permiten identificar áreas con mayor carga contaminante. En general, se registraron concentraciones elevadas en la mayoría de los puntos de monitoreo, destacándose los puntos 2 (Mariscal Sucre entre Padre Aguirre y General Torres), 3 (Padre Aguirre entre Simón Bolívar y Sucre), 4 (Padre Aguirre y Simón Bolívar) y 7 (Luis Cordero entre Gran Colombia y Simón Bolívar) con 2620,44 µg/m³ (figura 4c). Estos valores sugieren una alta carga de SO₂ en sectores específicos del centro histórico, posi-

blemente vinculada al uso intensivo de generadores a diésel durante los cortes de energía. Estas concentraciones podrían estar relacionadas con el uso de generadores que funcionan con diésel de baja calidad, una práctica común en varios países de América Latina, especialmente en contextos de crisis energética dado que la combustión de combustibles fósiles con alto contenido de azufre es una de las principales fuentes de emisión de SO₂ (Azevedo y Olsen, 2018; Zhong et al., 2020).

Estudios realizados en Quito, Ecuador, muestran que los niveles de SO₂ tienden a incrementarse durante los períodos de crisis eléctrica, como los ocurridos entre abril de 2024 y los meses de octubre a diciembre de 2023 y 2024. Además, se ha observado que los picos matutinos habituales de concentración de SO₂ se desplazan hacia horas más tardías durante los apagones programados, lo que sugiere una alteración en los patrones de uso de energía y movilidad (Zalakeviciute et al., 2025).

Finalmente, la figura 4(d) muestra la distribución del ozono (O₃), destacándose los puntos 8 (Gran Colombia entre Benigno Malo y Padre Aguirre) con 25,14 µg/m³ y 9 (Padre Aguirre y Gran Colombia) con 24,19 µg/m³ como los de mayor concentración. La presencia de O₃ está estrechamente relacionada con los niveles de dióxido de nitrógeno (NO₂), ya que durante la crisis hidroeléctrica de 2023/2024, el incremento de NO₂ puede haber reducido las concentraciones de O₃ a través del llamado

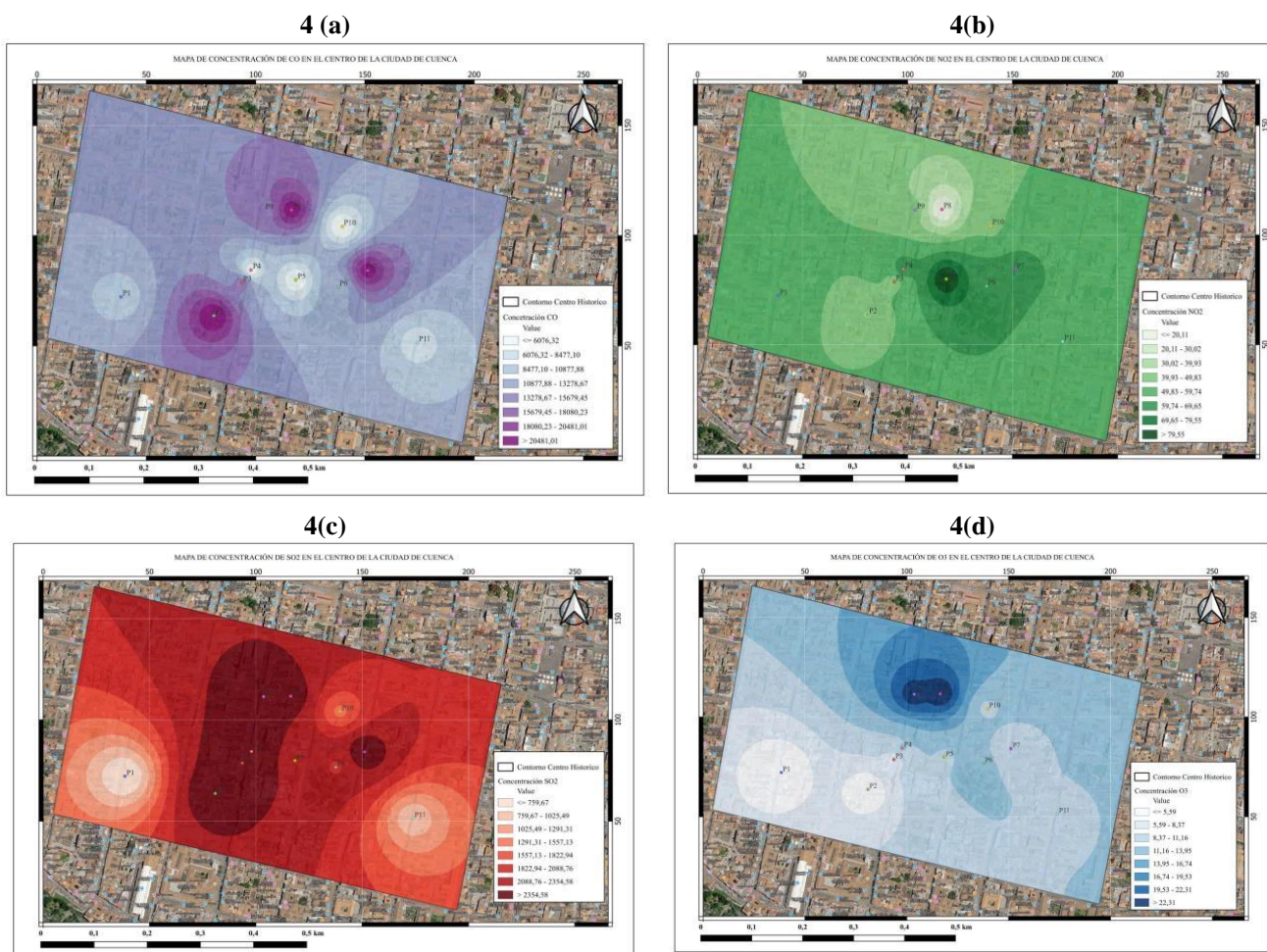


Fig. 4: Distribución de: a) CO, b) NO₂, c) SO₂, d) O₃.

“efecto de titulación”, donde el óxido nítrico (NO) reacciona con el ozono y lo neutraliza (Zalakeviciute et al., 2024). En contraste, durante la pandemia de COVID-19, la disminución del tránsito vehicular y de la actividad industrial provocó una reducción en los niveles de NO₂, lo que favoreció un incremento en las concentraciones de ozono en algunas regiones (Sokhi et al., 2021).

Los estudios llevados a cabo en entornos urbanos corroboran los efectos específicos de los equipos generadores a diésel. Su notoria ineficiencia y el mantenimiento insuficiente ocasionan emisiones considerables de CO, NO₂ y materia particulada al entorno. En épocas de escasez energética, estas emisiones representan una contribución crucial para el deterioro de la pureza atmosférica (Farquharson et al., 2018; Shakya et al., 2022; Wu et al., 2018). La amenaza se intensifica en las áreas caracterizadas por su trazado angosto y una elevada concentración de construcciones. En tales sitios, los gases del tránsito cotidiano y de los generadores funcionando de forma simultánea permanecen confinados, sin poder diluirse correctamente, generando una mezcla de contaminantes de gran peligrosidad.

Las concentraciones de gases al aire ambiente, conjuntamente con los niveles de presión sonora, se vieron acrecentados por el empleo de generadores eléctricos. Investigaciones previas a los cortes energéticos, reportaron niveles de presión entre 81,22 dB (A) y 82,72 dB (A) en la calle Honorato Vásquez, localizada en el Centro Histórico (Abad et al., 2024), para gases en el aire, se han reportado valores de 5,30 ug/m³ para PM₁₀; 2,91 ug/m³ para PM_{2,5}; 946, 12 ug/m³ para CO, 14,32 ug/m³ para O₃ y 81,47 ug/m³ para SO₂ (Benitez et al., 2026), evidenciándose que el empleo de los generadores eléctricos incrementó significativamente el nivel de presión sonora por encima de 85 dB (A), así como los gases en aire ambiente.

Por ello, resulta importante que la autoridad local promueva la elaboración de una ordenanza que regule los límites de ruido y horarios de funcionamiento de estos equipos; en torno a la circulación vehicular, investigaciones antecedentes han examinado las ventajas de adoptar vehículos de hidrógeno como un método para disminuir la polución en este sector (Cevallos et al., 2022). Coincidiendo con esta perspectiva, el Municipio de Cuenca ha sugerido acciones auxiliares como la reducción de tributos, la disminución en el costo del mantenimiento de vehículos y la puesta en marcha de áreas de estacionamiento prioritario (Gómez et al., 2017).

Conclusiones

La crisis energética de 2024 evidenció la vulnerabilidad de los centros urbanos patrimoniales frente a interrupciones prolongadas del suministro eléctrico. En el centro histórico de Cuenca, el uso intensivo de generadores eléctricos, como medida de respuesta a los apagones, generó impactos ambientales significativos. Los resultados obtenidos muestran un aumento considerable en los niveles de ruido y en la concentración de contaminantes atmosféricos, particularmente PM_{2,5}, PM₁₀, CO, SO₂ y NO₂, durante los horarios de funcionamiento de los generadores.

Estos resultados evidencian que, si bien los generadores ofrecieron una solución temporal para la continuidad operativa de comercios y servicios, su uso masivo y desregulado en zonas densamente pobladas y patrimoniales puede comprometer la calidad ambiental y la salud pública. Además, la falta de normativa específica sobre emisiones y niveles permitidos de ruido en contextos de emergencia agrava los efectos negativos sobre el entorno urbano.

Es imperante incorporar consideraciones ambientales en los planes de gestión de crisis energética, especialmente en áreas históricas. Esto implica promover alternativas energéticas más limpias, establecer lineamientos para el uso de generadores en zonas patrimoniales, y fortalecer los sistemas de monitoreo ambiental urbano.

Declaración de intereses concurrentes

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimiento

El presente trabajo se ha desarrollado en el contexto del Proyecto: “Uso de Epífitos como indicadores de la contaminación atmosférica urbana en el cantón Cuenca”, ganador del XIX concurso de proyectos del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Cuenca, financiado por el mismo. Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad de Cuenca, Vicerrectorado de Investigación (VIUC), Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca, por el respaldo institucional prestado en esta investigación, la cual genera conciencia sobre los problemas de contaminación del aire en la comunidad.

Referencias

1. Campozano, L., Ballari, D., Montenegro, M., & Avilés, A. (2020). Future meteorological droughts in Ecuador: Decreasing trends and associated spatio-temporal features derived from CMIP5 models. *Frontiers in Earth Science*, 8, 17. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00017>
2. Carvajal, P. E., & Li, F. G. (2019). Challenges for hydropower-based nationally determined contributions: A case study for Ecuador. *Climate Policy*, 19(8), 974–987. <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1617667>
3. Oxford Analytica. (2024). Power cuts loom as Ecuador’s energy crisis continues. *Emerald Expert Briefings*. <https://doi.org/10.1108/OXAN-DB289348>
4. Zalakeviciute, R., Diaz, V., & Rybarczyk, Y. (2024). Impact of city-wide diesel generator use on air quality in Quito, Ecuador, during a nationwide electricity crisis. *Atmosphere*, 15(10), 1192. <https://doi.org/10.3390/atmos15101192>
5. Zalakeviciute, R., Lopez-Villada, J., Ochoa, A., Moreno, V., Byun, A., Proaño, E., Mejía, D., Bonilla-Bedoya, S., Rybarczyk, Y., & Vallejo, F. (2025). Urban Air Pollution in the Global South: A Never-Ending Crisis? *Atmosphere*, 16(5), 487. <https://doi.org/10.3390/atmos16050487>
6. Al-Hallak, M., Kurdieh, A. A., Yassine, A., El Hage, R., & Saliba, N. (2024). When do science recommendations stop being effective? The case of the sprawl of diesel electricity generators in Bei-

- rut. *PLoS ONE*, 19(12), e0313341. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0313341>
7. Jack, J., & Jack, B. (2022). Nigeria's energy crisis and the sustainability question. *Social Health Sciences*, 20(1–2). <https://doi.org/10.25159/2957-3645/11449>
 8. Terrapon, J., Ortiz, W., Viebahn, P., Kynast, E., & Flörke, M. (2020). Water demand scenarios for electricity generation at the global and regional levels. *Water*, 12(9), 2482. <https://doi.org/10.3390/w12092482>
 9. Farquharson, D., Jaramillo, P., & Samaras, C. (2018). Sustainability implications of electricity outages in sub-Saharan Africa. *Nature Sustainability*, 1(10), 589–597. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0151-8>
 10. Husain, M. M. (2024). An experimental study on electricity generator emissions and their environmental impact in Kirkuk city. *Advances in Mechanical and Materials Engineering*, 41(1), 113–123. <https://doi.org/10.7862/rm.2024.11>
 11. Vallejo, F., Villacrés, P., Yáñez, D., Espinoza, L., Bodero-Poveda, E., Díaz-Robles, L. A., Oyaneder, M., Campos, V., Palmay, P., Cordovilla-Pérez, A., Díaz, V., Leiva-González, J., & Alejandro-Martin, S. (2025). Prolonged Power Outages and Air Quality: Insights from Quito's 2023–2024 Energy Crisis. *Atmosphere*, 16(3), 274. <https://doi.org/10.3390/atmos16030274>
 12. Giwa, S. O., Nwaokocho, C. N., & Adeyemi, H. O. (2019). Noise and emission characterization of off-grid diesel-powered generators in Nigeria. *Management of Environmental Quality*, 30(4), 783–802. <https://doi.org/10.1108/MEQ-07-2018-0120>
 13. Nwabueze, O. D., Chijioko, O. V., & Blessed, N. S. (2024). Assessment of noise pollution from petrol generators in Nigeria: An analysis of distance, capacity and age variables. *Journal of Engineering Research and Reports*, 26(12), 1–10. <https://doi.org/10.9734/jerr/2024/v26i121335>
 14. World Bank & IHME (Institute for Health Metrics and Evaluation). (2016). *The cost of air pollution: Strengthening the economic case for action*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/25013>
 15. Casey, J. A., Fukurai, M., Hernández, D., Balsari, S., & Kiang, M. V. (2020). Power outages and community health: A narrative review. *Current Environmental Health Reports*, 7(4), 371–383. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00295-0>
 16. Oguntoko, O., & Adeyemi, A. A. (2017). Degradation of urban environment and human health by emissions from fossil fuel combusting electricity generators in Abeokuta metropolis, Nigeria. *Indoor and Built Environment*, 26(4), 538–550. <https://doi.org/10.1177/1420326X16629818>
 17. Giwa, S. O., Nwaokocho, C. N., & Layeni, A. T. (2021). Experimental investigation of noise footprints of gasoline-fueled backup generators. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1107(1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1107/1/012020>
 18. Karki, T. B., Manandhar, R. B., Neupane, D., Mahat, D., & Ban, P. (2024). Critical analysis of noise pollution and its effect on human health. *International Journal of Educational and Life Sciences*, 2(2), 161–176. <https://doi.org/10.59890/ijels.v2i2.1372>
 19. Mohammed, M. I., & Rabeea, M. A. (2021). Effects of noise pollution from electric backup generators on the operators' health. *Pakistan Journal of Scientific and Technological Research*, 29(4). <https://doi.org/10.47836/pjst.29.4.24>
 20. Tacuri, C. F., Calderón, F. S., & Sellers, C. A. (2016). Modelación del ruido por tráfico vehicular en la calle Mariscal Lamar en la ciudad de Cuenca. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 8(14), 111–117. <https://doi.org/10.18272/aci.v8i14.303>
 21. Barcos, J. G., Marin, A. G., & Valencia, A. P. (2022). Comparación del ruido generado por generadores eléctricos y su impacto en la salud en las avenidas Quito y 9 de Octubre, Guayaquil. *Revista Internacional de Investigación y Desarrollo Global*, 1(1), 15–34. <https://doi.org/10.64041/riidg.v1i1.2>
 22. Azodo, A. P., Omokaro, I., & Ft, M. T. (2018). Evaluation and analysis of environmental noise from petrol fuelled portable power generators used in commercial areas. *Journal of Experimental Research*, 6(1), 8–13. http://er-journal.com/papers/Azodo%20A_March_2018_8-13.pdf
 23. Austin, W., Heutel, G., & Kreisman, D. (2019). School bus emissions, student health and academic performance. *Economics of Education Review*, 70, 109–126. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2019.03.002>
 24. Cacciottolo, M., Wang, X., Driscoll, I., Woodward, N., Saffari, A., Reyes, J., Serre, M., Vizuete, W., Sioutas, C., Morgan, T. E., Gatz, M., Chui, H. C., Shumaker, S. A., Resnick, S. M., Espeland, M. A., Finch, C. E., & Chen, J. C. (2017). Particulate air pollutants, APOE alleles and their contributions to cognitive impairment in older women and to amyloidogenesis in experimental models. *Translational Psychiatry*, 7(1), e1022. <https://doi.org/10.1038/tp.2016.280>
 25. García, N. B., Astudillo, A. L., Moscoso, D. L., Mejía, J. D., Narváez, M. A., & Vázquez, C. P. (2018). Niveles de material particulado en la zona urbana de Cuenca-Ecuador y su relación con el tráfico vehicular. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 9(20), 41–55. <https://dSPACE.ucuenca.edu.ec/bitstreams/ed083f31-1961-4bd7-8509-4e1322c821f9/download>
 26. Narváez, M. A., Astudillo, A. L., García, N. B., Moscoso, D. L., Mejía, J. D., Vásquez, P. E., & Bailón, N. (2020). Efecto genotóxico del material particulado PM2.5 recolectado en la zona urbana de Cuenca-Ecuador sobre la línea celular de ovario de hámster chino CHO-K1. *Revista de Toxicología*, 37(2), 118–124. <https://dSPACE.ucuenca.edu.ec/bitstreams/00d1b41d-8716-4166-b417-2d1a22cbd853/download>
 27. Anderson, K., Laws, N., Marr, S., Lisell, L., Jimenez, T., Case, T., Li, X., Lohmann, D., & Cutler, D. (2018). Quantifying and monetizing renewable energy resiliency. *Sustainability*, 10(4), 933. <https://doi.org/10.3390/su10040933>
 28. Astudillo, A. L., Ramírez, M. I., García, N. B., González, G. J., Gutiérrez, I. A., & Bailón, N. C. (2015). Caracterización química del material particulado PM10 de la zona urbana de Cuenca-Ecuador e investigación de su genotoxicidad e inducción de estrés oxidativo en células epiteliales alveolares A549. *Revista de Toxicología*, 32(2), 121–126. <https://rev.aetox.es/wp/wp-content/uploads/hemeroteca/vol32-2/vol%2032-2-121-126.pdf>
 29. Shakya, S. R., Bajracharya, I., Vaidya, R. A., Bhave, P., Sharma, A., Rupakheti, M., & Bajracharya, T. R. (2022). Estimation of air

- pollutant emissions from captive diesel generators and its mitigation potential through microgrid and solar energy. *Energy Reports*, 8, 3251–3262. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.02.084>
30. Johnson-Arbor, K. K., Quental, A. S., & Li, D. (2014). A comparison of carbon monoxide exposures after snowstorms and power outages. *American Journal of Preventive Medicine*, 46(5), 481–486. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2014.01.006>
31. Cobos, S., Espinosa, E., Aguirre, M., & Reyes, D. (2019). Urban image analysis based on nitrogen dioxide (NO₂) as a polluting agent: Case study of the historical center of the city of Cuenca. In *Proceedings of the 8th International Conference on Building Resilience* (ISBN 978-989-20-8992-8). Lisbon, Portugal. <http://id.bnportugal.gov.pt/bib/bibnacional/202938>
32. Azevedo, K., & Olsen, D. B. (2018). System engineering risk analysis of diesel engine durability in Latin America. *Systems Engineering*, 21(4), 345–357. <https://doi.org/10.1002/sys.21440>
33. Zhong, Q., Shen, H., Yun, X., Chen, Y., Ren, Y., Xu, H., Shen, G., Du, W., Meng, J., Li, W., Ma, J., & Tao, S. (2020). Global sulfur dioxide emissions and the driving forces. *Environmental Science & Technology*, 54(11), 6508–6517. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07696>
34. Sokhi, R. S., Singh, V., Querol, X., Finardi, S., Targino, A. C., Andrade, M. F., Pavlovic, R., Garland, R. M., Massagué, J., Kong, S., Baklanov, A., Ren, L., Tarasova, O., Carmichael, G., Peuch, V.-H., Anand, V., Arbilla, G., Badali, K., Beig, G., ... Zavala, M. (2021). A global observational analysis to understand changes in air quality during exceptionally low anthropogenic emission conditions. *Environment International*, 157, 106818. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106818>
35. Wu, X., Vu, T. V., Shi, Z., Harrison, R. M., Liu, D., & Cen, K. (2018). Characterization and source apportionment of carbonaceous PM_{2.5} particles in China: A review. *Atmospheric Environment*, 189, 187–212. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.06.025>
36. Abad, P., Ramírez, D., & Astudillo, A. L. (2024). Calidad del Aire Ambiente en Entornos Escolares con Intervenciones de Urbanismo Táctico en Cuenca, Ecuador. *Revista Politécnica*, 54(2), 65-74.
37. Benítez, Á., Yangua, E., Calva, J., Astudillo, A., Moscoso, D., & Aragón, G. (2026). Decline in epiphytic diversity (lichens and bryophytes) in response to air pollution in a high-altitude city. *Atmospheric Pollution Research* <https://doi.org/10.1016/j.apr.2026.103030>
38. Cevallos, A. M., Barragán, B. E., Zalamea, E., & Serrano, X. (2022). Hydrogen capacity for use in public transportation using the excess electricity generated by photovoltaics from rooftops in the urban area of Cuenca, Ecuador. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 20(1), 49–54. <https://doi.org/10.24084/repqj20.215>
39. Gomez, J. R., Gonzalez, L. G., Vide, P. C., Gameiro, N. S., & Guerron, G. (2017). Impact of electric vehicle charging on the distribution system in Cuenca, Ecuador. In *2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference – Latin America (ISGT Latin America)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISGT-LA.2017.8126756>