

Artículo Original:

Comparación de los niveles de contaminación por material particulado fino (PM2.5) entre la ciudad de Cuenca y Loja, Ecuador 2024

Comparison of fine particulate matter (PM2.5) pollution levels between the cities of Cuenca and Loja, Ecuador 2024

Acceso abierto

Citación









Pinos-Vélez N.; Chuchuca-Juan A.; Pucha-Cofrep F.; Segarra-Morales S.; Roldan J.; Agreda-Orellana S.; Campoverde-Cisneros A.; Cardoso-José D. **Comparación de los niveles de contaminación por material particulado fino (PM2.5) entre la ciudad de Cuenca y Loja, Ecuador 2024.** INSPILIP 2026, Volumen 10 Número 32

URL: <https://www.inspilip.gob.ec/index.php/inspi/issue/view/40>

Revista Científica INSPILIP. Volumen 10, Número 32.

Los autores declaran estar libre de cualquier asociación personal o comercial que pudiera representar un conflicto de intereses en relación con el artículo y haber respetado los principios éticos de la investigación, como haber solicitado autorización a la institución donde se realizó el estudio, permiso para el uso de los datos, consentimiento informado y, en el caso de estudios observacionales y ensayos clínicos, autorización de CEISH, ARCSA, Environment, entre otros, según la categoría. También tiene licencia para publicar imágenes de la(s) persona(s) que aparecen en el manuscrito. Por lo tanto, INSPILIP no se responsabiliza de ningún daño a terceros, ni tampoco INSPI, como entidad editora, ni el Editor. La responsabilidad de la publicación recae exclusivamente en los autores.

Patricio Vega Luzuriaga, PhD
EDITOR EN JEFE

-  Pinos-Vélez Nathalie¹, nathalie.pinosv@ucuenca.edu.ec
-  Chuchuca-Juan Andrés¹, naujandres19@gmail.com
-  Pucha-Cofrep Franz², fapucha@utpl.edu.ec
-  Segarra-Morales Soledad², mssegarra@utpl.edu.ec
-  Roldan José¹, jose.roldan@ucuenca.edu.ec
-  Agreda-Orellana Solmayra¹, ivanna.agreda@ucuenca.edu.ec
-  Campoverde-Cisneros Alfredo^{1,3}, alfredo.campoverde@ucuenca.edu.ec
-  Cardoso-José David⁴, josedcardoso333@gmail.com

1. Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador.
2. Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), Loja-Ecuador
3. Consejo Cantonal de Salud de Cuenca, Cuenca-Ecuador
4. Universidad Católica de Cuenca, Cuenca-Ecuador.

Identificación de la responsabilidad y contribución de los autores: Idea original (JDC,NP,JC), recopilación de la información (FP,SS, AC,SA), análisis de datos (NP,JC), redacción del borrador (NP,JDC), parte metodológica (JR, JC), análisis de datos (JDC,JC), revisión del documento (AC,JR,JC).

*Correspondencia: Nathalie Pinos Vélez; Email: nathalie.pinosv@ucuenca.edu.ec

Fecha de ingreso: 14 de marzo de 2026
Fecha de aprobación: 27 de abril de 2026
Fecha de publicación: 5 de mayo de 2026

Resumen

Contexto: La contaminación atmosférica produce efectos negativos en la salud de la población. El contaminante que mayores daños causa por su tamaño reducido es el material particulado fino de 2.5 micras (PM2.5), capaz de ingresar en el sistema respiratorio y cardiovascular asociado a un aumento de mortalidad. El objetivo de este estudio es comparar los niveles de PM2.5 entre la ciudad de Cuenca y Loja en zonas de alta y baja contaminación. Se realizó un estudio observacional analítico de corte transversal, que comparo los niveles de PM2.5 de la ciudad de Cuenca y Loja en el año 2024. Se determinó el número de picos al día y el promedio año en cada estación de monitoreo mediante el cálculo del Kruskal-Wallis. Los promedios anuales de PM2.5 que mostraron una mayor concentración fueron en las estaciones CCA 11,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Cuenca, y en la estación centro Loja 15,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Con respecto al número de picos diarios registrados por mes y por estación se observó que el número mayor de picos los presentó la estación centro Loja, seguida de Cajanuma y la estación CCA en Cuenca, sin que exista relación entre el número de picos diarios al mes y la estación de monitoreo (Kruskal-Wallis $p > 0,05$). Sin embargo, todas las estaciones tienen promedios mayores a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que es lo que recomienda la OMS.

Palabras claves: Material particulado PM 2.5; Contaminación ambiental; Monitoreo ambiental.

Abstract

Atmospheric pollution produces negative effects on the population's health. The pollutant that causes the greatest damage due to its small size is fine particulate matter of 2.5 microns (PM2.5), which is capable of entering the respiratory and cardiovascular systems and is associated with increased mortality. The objective of this study is to compare PM2.5 levels between the cities of Cuenca and Loja in high and low pollution zones. An observational, analytical, cross-sectional study was conducted to compare PM2.5 levels in the cities of Cuenca and Loja during the year 2024. The number of daily peaks and the annual average were determined at each monitoring station using the Kruskal-Wallis test. The annual PM2.5 averages that showed the highest concentrations were recorded at station CCA in Cuenca with $11.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and at the central station in Loja with $15.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Regarding the number of daily peaks recorded per month and per station, the highest number of peaks was observed at the central station in Loja, followed by Cajanuma and station CCA in Cuenca. There was no statistically significant relationship between the number of daily peaks per month and the monitoring station (Kruskal-Wallis $p > 0.05$). However, all stations recorded annual averages higher than $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, which is the level recommended by the WHO.

Key Word: Particulate matter PM2.5; Environmental pollution; Environmental monitoring.

Introducción

La contaminación atmosférica es un problema global que trae como consecuencia el desarrollo de enfermedades a diferentes niveles convirtiéndose en un problema de salud pública. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la mayoría de la población mundial (90%) respira aire poco saludable, siendo uno de los mayores contaminantes el material particulado fino de 2.5 micras (PM2.5), que son partículas de diámetro aerodinámico inferior a 2.5 micras, por lo que fácilmente ingresan en el organismo y producen enfermedades¹⁻². Este material excede los niveles establecidos como seguros en la mayoría de las poblaciones, con el consiguiente desarrollo de enfermedades, por lo que es considerado un indicador de salud, ya que diversos estudios han demostrado una fuerte asociación entre la

exposición crónica a PM2.5 y el incremento de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y mortalidad prematura³.

Según estimaciones del Global Burden of Disease, la contaminación del aire ambiente por material particulado fino (PM2.5) representa el quinto factor de riesgo de muerte a nivel mundial, con 4,2 millones de fallecimientos (7,6% del total global) y más de 103 millones de años de vida ajustados por discapacidad perdidos en 2015⁴⁻⁵. En los países en vías de desarrollo en general y en América Latina en particular, las ciudades han experimentado un crecimiento urbano descontrolado sin una regulación ambiental adecuada, lo que ha desembocado en un deterioro en la calidad del aire, por la emisión de contaminantes atmosféricos generados por las industrias, el transporte y la generación de energía. Estas emisiones, junto con el transporte a larga distancia de contaminantes, han deteriorado la calidad del aire, especialmente en las grandes ciudades. Esto ha alertado a las Naciones Unidas que ha incluido dentro de sus objetivos de desarrollo sostenible (ODS) el que las ciudades y comunidades sean sostenibles (ODS 11), además la OMS ha establecido guías y objetivos para reducir la contaminación, pero lamentablemente los estándares nacionales varían considerablemente entre países, por ejemplo en Brasil y Colombia han actualizado sus normativas, mientras que en Argentina y Perú no existen límites para el PM2.5⁶⁻⁷.

En Ecuador la normativa vigente del 2010 establece un límite anual de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un límite diario de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el PM2.5⁸, lo que se contrapone a los límites propuestos por la OMS, que establece un límite anual de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un límite diario de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Si se toma en cuenta los valores de la OMS, ciudades como Quito, Cuenca y Guayaquil superan frecuentemente estos valores, en especial en zonas industriales o de alta circulación vehicular, pero no existen datos comparativos con ciudades más pequeñas y menos industrializadas como Loja⁹⁻¹⁰. Cuenca, ciudad patrimonial situada en la región andina ecuatoriana, cuenta con una red de monitoreo atmosférico que incluye estaciones de medición de material particulado fino, desde 2016 con sensores automáticos que registran de manera continua las concentraciones de PM2.5. A día de hoy existen 20 monitores ubicados estratégicamente, pero solo tres de ellos miden el material particulado PM2.5, estación MUN que se

encuentra en el centro de la ciudad (calle Simón Bolívar y Presidente Córdova), la estación CCA que se encuentra en el Colegio Carlos Arizaga Vega (sector parque industrial) y la estación EIE que se encuentra en la Escuela Ignacio Escandón (sector control sur). Esta red opera bajo estándares reconocidos internacionalmente, y sus datos permiten evaluar la exposición poblacional tanto a corto como a largo plazo, mientras que en Loja existen estaciones de monitoreo de las con las mismas características dirigidas por la UTPL (Universidad Técnica Particular de Loja).

El objetivo de este estudio es comparar los niveles de PM_{2.5} entre la ciudad de Cuenca y Loja en zonas de alta y baja contaminación de cada ciudad.

Materiales y Métodos

Se realizó un estudio observacional analítico de corte transversal de los datos obtenidos de las diferentes estaciones de monitoreo del aire, en las ciudades de Cuenca-Ecuador y de Loja-Ecuador, de enero a diciembre del 2024, para Cuenca y Loja se crearon dos bases de datos independientes basadas, la primera en el informe de calidad del aire emitido por la EMOV en julio del 2025, donde se incluyeron todos los datos publicados; sin criterios de exclusión, y para la segunda los datos recolectados de las estaciones de monitoreo de la UTPL (Universidad Técnica Particular de Loja), luego se consolidó la información en una sola base de datos.

Para el análisis descriptivo e inferencial se utilizó el programa Jamovi 2.6.44. Todas las variables fueron numéricas, por lo que se utilizó la media y la desviación estándar para las analíticas descriptivas y el Kruskal-Wallis para el análisis inferencial debido a que la distribución fue no normal en la variable analizada PM_{2.5} con un Alpha 5% ($p < 0,05$).

Se compararon los niveles de contaminación por material particulado de 2,5 micras (PM_{2.5}) en la ciudad de Cuenca en el año 2024 de la estación MUN que se encuentra en el centro de la ciudad (calle Simón Bolívar y presidente Córdova), la estación CCA que se encuentra en el Colegio Carlos Arízaga Vega (sector parque industrial) y la estación EIE que se encuentra en la Escuela Ignacio Escandón (sector control sur), con los

niveles encontrados en Loja en las estaciones Centro Loja y Cajanuma. El material particulado PM_{2.5} se cálculo con el método de atenuación de rayos beta USEPA que es un método equivalente EQPM-0308-170 con un microsensar modelo Met One BAM-1020.

Se determinó el número de picos al día según criterios de la OMS (un pico es un valor de más de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ día de material particulado 2.5) por mes en cada estación de monitoreo, el promedio de los valores de los picos diarios por mes y por estación y el promedio anual de cada estación. Por último, se cálculo el Kruskal-Wallis con el programa Jamovi 2.6.44. para ver si existió relación entre el número de picos diarios al mes de cada estación de monitoreo.

Resultados

Para el análisis estadístico se introdujeron todos los datos del material particulado PM_{2.5} del informe 2024 de la EMOV y los datos recolectados de las estaciones de monitoreo de la UTPL, en una base de datos, obteniendo los siguientes resultados.

Con respecto a los niveles de material particulado PM_{2.5} como se evidencia en la Tabla 1 en las diferentes estaciones evaluadas, se observa que varios meses presentan promedios diarios por encima del límite recomendado por la OMS (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), principalmente entre agosto y noviembre. En la estación MUN, los meses de septiembre y noviembre superan este umbral, con picos máximos de 47,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, y un promedio anual de $10,3 \pm 5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En la estación CCA, los meses de agosto, septiembre y noviembre presentan valores elevados, con máximos de 24,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 47,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y un promedio anual de $11,4 \pm 4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En la estación EIE, únicamente el mes de septiembre supera los niveles recomendados, con un pico máximo de 70,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un promedio anual de $9,18 \pm 6,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por su parte, en la estación Centro Loja, los meses de agosto, septiembre y noviembre presentan promedios por encima del límite, con un valor máximo de 1400,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en septiembre y un promedio anual de 15,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, en la estación Cajanuma Loja, los meses de agosto, septiembre y noviembre también superan el umbral, con un pico máximo de 494,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un promedio anual de 11,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En conjunto, los resultados muestran incrementos en los niveles de PM_{2.5} en determinados meses del año en todas las estaciones analizadas.

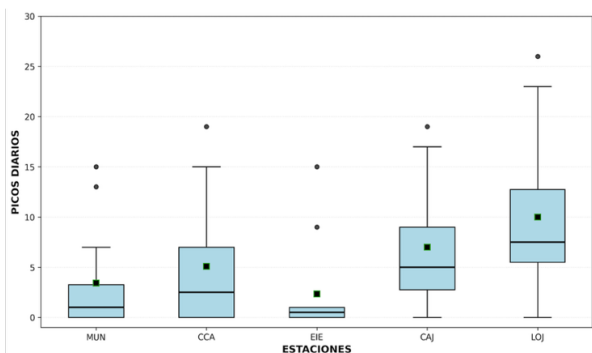
Tabla 1. Descriptivas del PM2.5 de todas las Estaciones.

Mes	Estación MUN					Estación CCA					Estación EIE					Centro, Loja					Estación Cajanuma				
	X	Med	DE	Min	Max	X	Med	DE	Min	Max	X	Med	DE	Min	Max	X	Med	DE	Min	Max	X	Med	DE	Min	Max
Enero	7.22	6.20	5.69	0.00	33.10	10.60	9.95	4.94	5.10	31.2	7.74	6.30	4.42	3.800	28.40	9.61	7.7	9.39	0	223.6	7.56	5.4	7.07	0	34.4
Febrero	7.35	5.70	5.01	3.50	30.50	9.27	8.90	2.58	5.30	14.5	6.09	6.10	2.20	2.900	10.80	6.17	2.3	9.68	0	49.6	4.79	0.6	8.58	0	39.6
Marzo	6.94	6.80	2.38	0.00	13.10	10.80	10.00	3.17	6.80	19.5	7.25	7.10	2.61	0.700	14.30	10.6	6.2	10.41	0	50.8	8.37	5.1	9.25	0	89.7
Abril	5.02	5.65	4.62	0.00	14.60	9.09	8.80	4.07	3.40	16.1	7.17	5.95	3.67	2.000	16.20	10.87	4.2	13.12	0	50.2	8.39	2.2	11.72	0	90.5
Mayo	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	7.26	7.00	2.48	3.00	13.0	2.27	1.60	1.80	0.500	7.30	1.66	0.9	3.09	0	116.6	0.65	0	1.72	0	18
Junio	8.68	8.50	1.35	6.30	11.00	7.80	7.40	2.18	5.00	12.6	6.66	6.55	1.37	4.400	9.90	3.36	2.2	4.93	0	175.1	1.4	0.4	2.5	0	23.9
Julio	9.01	8.40	3.21	3.90	17.00	8.95	7.80	3.17	4.80	15.2	8.44	7.60	2.98	3.100	15.40	9.14	4.8	9.37	0	41.1	4.99	1.8	6.24	0	30.1
Agosto	12.60	12.10	3.77	5.20	21.50	15.56	14.90	4.59	6.80	24.7	11.52	10.50	4.21	4.600	21.30	22.29	21.6	14.66	0.1	142.7	16.73	15.2	12.9	0	65.1
Septiembre	19.62	14.90	13.48	2.70	47.20	23.33	20.45	13.24	7.50	47.3	26.98	22.75	16.32	8.000	70.70	64.77	41.1	95.95	0.5	1400.4	35.22	24.9	28.67	0.3	130.1
Octubre	9.81	10.10	4.76	0.00	22.00	11.01	10.10	5.01	4.60	27.7	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	13.28	7.9	21.6	0	762.3	12	5.7	13.92	0	61.2
Noviembre	19.91	15.85	13.43	7.20	60.70	16.77	14.50	9.86	5.20	47.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	34.12	20.9	49.87	0	446.9	37.6	19.6	61.11	0	494.7
Diciembre	5.37	5.40	1.23	3.00	7.80	7.08	7.05	2.10	2.30	12.2	7.74	5.95	7.85	2.700	31.90	7.53	3.4	11.46	0	257.8	6.13	2	9.49	0	49.4

En lo que respecta al número de picos diarios por mes y estación, como se refleja en la tabla 2. se observó que los meses de agosto, septiembre y noviembre son los que presentaron el mayor número de picos/día.

Tabla 2. Número de picos diarios por mes y estación, Cuenca/Loja 2024.

LUGAR	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
MUN	1	1	0	0	0	0	2	7	15	2	13	0
CCA	3	0	3	2	0	0	1	15	19	5	13	0
EIE	1	0	0	1	0	0	1	9	15	0	0	1
CENTRO	6	4	8	7	0	0	9	23	26	10	21	6
CAJANUMA	5	3	5	7	0	0	2	15	17	7	19	4



Al comparar si existen diferencia entre el número de picos diarios al mes y el lugar de la estación de monitoreo se vio que el Shapiro-Wilk es < 0,001 (distribución no normal), por lo que se calculó el test estadístico de Kruskal-Wallis con un valor p mayor de 0,05 que significa que no hay relación entre el número de picos diarios al mes y la estación de monitoreo.

Kruskal-Wallis

	χ^2	gl	p
MUN	11.0	11	0.443
CCA	11.0	11	0.443
EIE	11.0	11	0.443
CENTRO	11.0	11	0.443
CAJANUMA	11.0	11	0.443

Discusión.

Los niveles de PM2.5 registrados en las ciudades de Cuenca y Loja durante el 2024 muestran una situación intermedia en comparación con otras ciudades andinas y latinoamericanas. El promedio anual más alto en Cuenca fue de 11,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (estación CCA), y en Loja de 15,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (estación centro), siendo el de Cuenca un valor inferior al reportado históricamente en Quito y el de Loja similar, estudios pre y post pandemia muestran en Quito medias anuales que rondan los 15-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en zonas de alta densidad vehicular⁹.

Si se compara con otras ciudades de Latinoamérica se ve que los promedios en Ecuador están por debajo de ciudades como Bogotá o Lima, donde los niveles pueden superar los 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pero por encima de ciudades como Santiago de Chile donde se han implementado políticas más agresivas de control de emisiones que han logrado mantener promedios anuales cercanos a los 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este contraste puede estar relacionando tanto la topografía y meteorología local como el grado de industrialización, congestión vehicular y aplicación de políticas ambientales en cada ciudad¹¹.

En Cuenca, la fuente principal de PM2.5 es el tráfico vehicular, particularmente en sectores como el centro histórico y el parque industrial, como lo evidencia el mayor promedio anual en la estación CCA. En Loja las partículas son derivadas de una serie de incendios forestales suscitados en el mes de septiembre en las áreas aledañas de la ciudad. En Quito y Bogotá, además del tránsito, influyen también fuentes industriales, mientras que, en ciudades como São Paulo o Ciudad de México, el papel de las fuentes móviles e industriales se suma al transporte regional de contaminantes. Además, en ciudades costeras o con clima seco, la suspensión de polvo del suelo y la quema de biomasa en las periferias también contribuyen significativamente.

Cuenca, ubicada a más de 2500 metros y Loja a 2100 metros sobre el nivel del mar, presenta condiciones meteorológicas particulares que influyen en la dispersión de contaminantes. La baja presión atmosférica y temperaturas frías favorecen la estabilidad atmosférica, lo que puede dificultar la dispersión vertical del material particulado. Adicionalmente, fenómenos como la inversión térmica matutina en zonas de valle limitan la

ventilación, acumulando contaminantes en las primeras horas del día. Esta situación es compartida con otras ciudades andinas como Quito y La Paz, donde la topografía cerrada y la altitud agravan los efectos de fuentes locales de emisión.

Según la normativa ecuatoriana vigente del 2010, los límites permisibles para PM_{2.5} son 15 µg/m³ (promedio anual) y 65 µg/m³ (diario). En comparación, la OMS (2021) que recomienda umbrales significativamente más bajos: 5 µg/m³ (anual) y 15 µg/m³ (diario). Si se usa como referencia las normas nacionales, ninguna estación sobrepasa los niveles permitidos, pero si se toma en cuenta el valor guía anual de la OMS, todas las estaciones tanto de Cuenca como de Loja superan este valor. Además, se observan más picos en los meses de agosto, septiembre y noviembre, en el contexto de los incendios provocados en ese año por la sequía.

La evidencia respalda la necesidad de implementar políticas públicas estrictas y multisectoriales para el control de la contaminación atmosférica en Cuenca y Loja, por lo que es necesario actualizar la normativa nacional urgentemente, para que se alinea a las guías de la OMS. Se debe aprovechar la existencia de las estaciones de monitoreo, para implementar un observatorio ciudadano de calidad del aire, y así generar políticas de salud.

Conclusiones:

Todas las estaciones tanto de Cuenca como de Loja tienen promedios anuales mayores a 5 µg/m³, que es lo que recomienda la OMS, siendo la estación con mayores promedios anuales por PM_{2.5} la estación centro Loja, seguida de la CCA sector parque industrial y Cajanuma. Con respecto al número de picos diarios estos fueron más frecuentes en la estación centro Loja, seguida de Cajanuma y la estación CCA. Sin embargo, no hay relación entre el número de picos diarios al mes y la estación de monitoreo.

Revisión por pares: El manuscrito fue revisado por pares ciegos y fue aprobado oportunamente por el Equipo Editorial de la revista INSPILIP.

Disponibilidad de datos y materiales: Los datos que sustentan este manuscrito están disponibles

bajo requisición al autor correspondiente.

Conflictos de interés de cada autor: Ninguno de los autores tiene conflicto de interés.

Contribución de los autores: Las distintas fases de la investigación fueron realizadas por los autores, que contribuyeron de igual forma en todo el proceso.

Referencias bibliográficas:

1. Pope CA 3rd, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *J Air Waste Manag Assoc.* 2006;56(6):709-742. doi:10.1080/10473289.2006.10464485.
2. Schraufnagel DE, Balmes JR, Cowl CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K, et al. Air pollution and noncommunicable diseases. *Chest.* 2019;155(2):409-416. doi:10.1016/j.chest.2018.10.042.
3. World Health Organization. WHO global air quality guidelines. Geneva: WHO; 2021. Disponible en: <https://www.who.int/publications/item/9789240034228>
4. Liu C, Chen R, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Guo Y, Tong S, et al. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities. *N Engl J Med.* 2019;381(8):705-715. doi:10.1056/NEJMoa1817364.
5. Molina LT. Introductory lecture: Air quality in megacities. *Faraday Discuss.* 2021;226:9-52. doi:10.1039/D0FD00123F.
6. Riojas-Rodríguez H, Schilmann A, López-Carrillo L, Finkelman J. Air pollution management and control in Latin America and the Caribbean: Implications for climate change. *Rev Panam Salud Publica.* 2016;40(2):76-82. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/31497>.
7. Gómez Peláez LM, Santos JM, Albuquerque TTA, Reis NC Jr, Andréão WL, Andrade MF. Air quality status and trends over large cities in South America. *Environ Sci Policy.* 2020;114:422-435. doi:10.1016/j.envsci.2020.09.009.
8. Ministerio del Ambiente del Ecuador. Plan Nacional de Calidad del Aire del Ecuador. Quito: Ministerio del Ambiente del Ecuador; 2010. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-cal>

dad-aire-1-final.pdf .

9. González Ordóñez AD. Análisis de la calidad del aire en la ciudad de Quito pre y post pandemia COVID-19. *LATAM Rev Latinoam Cienc Soc Humanid.* 2025;6(3):1678-1696. doi:10.56712/latam.v6i3.4068.

10. Arcos-Medina G, Armijos-Arcos F, Oñate-Andino MA, Pastor D, Jerves-Cobo R. Simulación para estimación de muertes por cáncer de pulmón por contaminación ambiental de PM_{2.5}. *Ciencia UNEMI.* 2018;11(27):97-110. doi:10.29076/issn.2528-7737vol11iss27.2018pp97-110p.

11. Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. Informe anual de calidad del aire 2022. Bogotá: Secretaría Distrital de Ambiente; 2022. Disponible en: <http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/Informe%20anual%202022.pdf>