

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN SAN JUAN DE LURIGANCHO UTILIZANDO SENSORES DE BAJO COSTO

Marian Montalvo¹, Daniel Horna^{1,2}
marian.montalvo@utec.edu.pe

¹Centro de Investigación y Tecnología del Agua, Universidad de Ingeniería y Tecnología

²Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Ingeniería y Tecnología

Palabras clave: Calidad del aire, sensores de bajo costo, contaminación atmosférica.

1) INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales y de salud pública más críticos a nivel mundial, responsable de más de 7 millones de muertes prematuras al año por enfermedades respiratorias y cardiovasculares vinculadas a contaminantes como el material particulado fino (PM_{2.5}), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el ozono troposférico (O₃) (Shairsingh et al., 2023). En América Latina, esta problemática se agrava por la rápida urbanización, el crecimiento del parque vehicular, las emisiones industriales y la débil aplicación de políticas ambientales (Delgado-Villanueva y Aguirre-Loayza, 2020). A pesar de los esfuerzos por reducir estos impactos, más del 90% de las ciudades en países de ingresos bajos y medios aún superan los niveles recomendados por la OMS (Shairsingh et al., 2023).

En Perú, Lima presenta los niveles más altos de contaminación del aire del país, y San Juan de Lurigancho destaca como uno de los distritos más afectados. Esta situación responde al intenso flujo vehicular, un parque automotor antiguo y una urbanización desordenada (Underhill et al., 2015). En sectores rodeados de cerros —como el entorno de la I.E.P. Antúnez de Mayolo— la topografía dificulta la dispersión de contaminantes, generando una mayor acumulación en el aire. Las instituciones educativas ubicadas en estas zonas suelen carecer de infraestructura verde o barreras físicas que mitiguen la exposición, lo que incrementa la vulnerabilidad de la población escolar. La I.E.P. Antúnez de Mayolo, situada en una zona urbanamente densa, representa un caso crítico para evaluar las condiciones locales de calidad del aire en contextos escolares de alto riesgo.

Este estudio analiza las condiciones de calidad del aire y meteorología en los alrededores de dicha institución educativa, mediante el uso de sensores de bajo costo instalados por meses. El objetivo es caracterizar los niveles de contaminación en un entorno urbano vulnerable y con baja capacidad de dispersión, para aportar datos útiles a futuras estrategias de monitoreo y mitigación.

2) METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en los alrededores de la Institución Educativa Pública Antúnez de Mayolo, ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho, Lima, Perú. Esta zona se caracteriza por una alta densidad urbana, tránsito vehicular constante y una topografía cerrada debido a la presencia de cerros, lo que limita la ventilación natural y favorece la acumulación de contaminantes atmosféricos.

2.1 Monitoreo de calidad de aire

El sensor de bajo costo Qaira es una estación portátil de monitoreo ambiental que mide contaminantes atmosféricos como material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃) y monóxido de carbono (CO). Además, registra variables meteorológicas

como temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%), presión atmosférica (hPa) y velocidad del viento (m/s). Los datos son recolectados en tiempo real a intervalos de un minuto, almacenados en la nube mediante la plataforma Qaira Cloud, y exportables en formato CSV para análisis posteriores.

El equipo fue instalado en el entorno inmediato de la I.E.P. Antúnez de Mayolo, a una altura aproximada de 2 metros del suelo y en una ubicación representativa, alejada de fuentes puntuales directas. Las mediciones se realizaron de forma continua durante 1 mes, cubriendo tanto horarios escolares como períodos de baja actividad para captar variaciones diarias.

Según la política de calidad de Qaira, estos sensores están diseñados para proporcionar datos ambientales confiables mediante tecnología validada de bajo costo, alineada con normas internacionales como ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001.

2.1 Preprocesamiento y análisis de datos

Los datos recolectados por el sensor Qaira fueron descargados en formato CSV y analizados con Rstudio. Se realizaron controles de calidad que incluyeron la eliminación de valores atípicos, registros incompletos o inconsistentes, y mediciones nulas o imposibles (por ejemplo, concentraciones negativas o superiores a los máximos teóricos).

Posteriormente, se elaboraron series temporales y gráficos de concentración de contaminantes utilizando la librería ggplot2, aplicando el método de suavizado GAM (Generalized Additive Models) para observar tendencias en los datos. Este enfoque permite modelar patrones no lineales y es especialmente útil en entornos urbanos con alta variabilidad horaria.

También se consideraron variables meteorológicas como la temperatura y la humedad relativa, que influyen en la dispersión de contaminantes. Por ejemplo, en condiciones de baja temperatura y alta humedad relativa, las partículas tienden a permanecer más tiempo en las capas bajas de la atmósfera, incrementando la exposición. Se incluyó también el análisis del ruido ambiente como indicador indirecto de la actividad vehicular y, por tanto, de emisiones contaminantes.

3) RESULTADO

Durante el periodo evaluado, se observaron niveles variables de contaminación atmosférica en la zona de estudio. En cuanto al material particulado, tanto $\text{PM}_{2.5}$ como PM_{10} presentaron concentraciones que en varios momentos superaron los límites establecidos por la normativa peruana (MINAM) y las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Las gráficas muestran que PM_{10} alcanzó valores superiores a $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que $\text{PM}_{2.5}$ superó los $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en varios puntos, lo cual representa una calidad del aire clasificada como “mala” o “no saludable para grupos sensibles”.

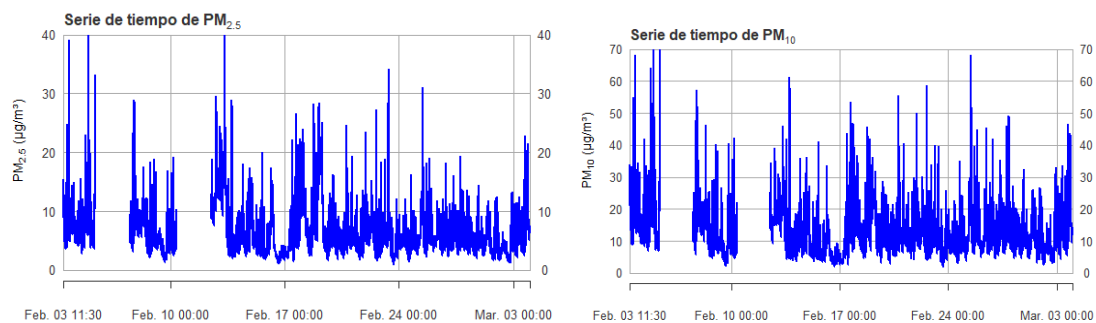


Figura 1: Serie de tiempo de material particulado.

Estas superaciones fueron más notorias durante los fines de semana, lo cual podría estar

asociado a mayor tránsito vehicular, actividades comerciales o condiciones meteorológicas que favorecen la acumulación de contaminantes.

El análisis de calidad del aire en San Juan de Lurigancho muestra en general buenos niveles según los estándares de la OMS. El SO₂ y el CO presentan valores seguros en más del 94% y 99% de las mediciones, respectivamente. El PM_{2.5} también muestra buenos resultados (79% en categoría “Good”), aunque un 21% supera ese nivel. El contaminante más preocupante es el NO₂, con solo 37% en categoría “Good” y más del 60% en niveles que podrían afectar a grupos sensibles. Esto sugiere que el tráfico vehicular es una fuente relevante de contaminación en la zona.

Contaminante	Good (%)	Moderate (%)	Unhealthy for sensitive groups (%)
SO ₂ (ug/m ³)	94.3	5.7	0
NO ₂ (ug/m ³)	37.2	31.4	31.4
PM _{2.5} (ug/m ³)	79.3	20.6	0.1
CO (ug/m ³)	99.8	0.1	0

Tabla 1: Resumen de clasificación según OMS.

4) CONCLUSIONES

El presente estudio confirma que la calidad del aire en San Juan de Lurigancho, especialmente en zonas urbanas densas como el entorno de la I.E.P. Antúnez de Mayolo, presenta niveles de contaminación que, si bien son aceptables para algunos contaminantes como el CO y el SO₂, muestran valores preocupantes en NO₂ y PM_{2.5}, vinculados principalmente a la actividad vehicular y la topografía local que limita la dispersión atmosférica. Estos resultados evidencian la necesidad de implementar políticas específicas de control y mitigación que consideren las condiciones particulares del distrito y prioricen la protección de grupos vulnerables como la población escolar. Además, el uso de sensores de bajo costo demuestra ser una herramienta valiosa para generar información local continua y apoyar la toma de decisiones ambientales. Estos hallazgos aportan evidencia relevante para el diseño de estrategias de monitoreo y manejo de la calidad del aire, alineadas con las normas y recomendaciones internacionales, contribuyendo así a futuras publicaciones en el área.

REFERENCIAS

Delgado-Villanueva, A. y Aguirre-Loayza, A., 2020: Modelamiento y evaluación del nivel de calidad del aire mediante el análisis de grey clustering, estudio de caso Lima metropolitana. *Tecnia*, 30(1). <http://dx.doi.org/10.21754/tecnica.v30i1.588>.

Montalvo, L., Patiño, J., Gómez, H. y Ramírez, A., 2022: An air quality monitoring and forecasting system for Lima City with low-cost sensors and artificial intelligence models. *Frontiers in Sustainable Cities*, 4, 849762. <https://doi.org/10.3389/frsc.2022.849762>.

Shairsingh, K., Barrera, M., Wolf, J., Prüss-Ustün, A. y Künzli, N., 2023: WHO air quality database: Relevance, history and future developments. *Bulletin of the World Health Organization*, 101, 356–358.

Underhill, L. J., Joshi, R., Gladson, L. A., Miranda, J. J., Tavera, J. D., Naeher, L. P., Gonzales, G. F. y Breysse, P. N., 2015: Association of roadway proximity with indoor air pollution in a peri-urban community in Lima, Peru. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12, 13466–13481.