

<https://doi.org/10.69639/arandu.v12i4.1823>

Evaluación de la contaminación atmosférica en Calderón, Quito, utilizando teledetección y Big data: Análisis de la relación con variables meteorológicas

*Assessment of air pollution in Calderón, Quito, using remote sensing and Big Data: Analysis of
the relationship with meteorological variables*

Jaime Vladimir Sancho Zurita

<https://orcid.org/0000-0002-5915-2100>

jsancho@itsjapon.edu.ec

Instituto Tectológico Universitario Japon
Ecuador- Quito

Ximena Luz Crespo Nuñez

<https://orcid.org/0000-0001-9622-089X>

xcrespo@udet.edu.ec

Universidad de Especialidades Turísticas
Ecuador- Quito

Sergio Vinicio Lasso Barreto

<https://orcid.org/0000-0002-1606-1524>

slasso@udet.edu.ec

Universidad de Especialidades Turísticas
Ecuador- Quito

Vicente Orley Ochoa Quezada

<https://orcid.org/0009-0001-4224-8261>

vochoa@udet.edu.ec

Universidad de Especialidades Turísticas
Ecuador- Quito

Alexis Vladimir Sancho Cando

<https://orcid.org/0009-0007-4336-6060>

alexisvsancho277@gmail.com

Investigador Independiente
Ecuador- Quito

*Artículo recibido: 18 noviembre 2025 -Aceptado para publicación: 28 diciembre 2025
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.*

RESUMEN

La calidad del aire es un factor crítico que afecta la salud pública y el medio ambiente. Este estudio, realizado en Calderón, Quito, Ecuador, analiza la correlación entre los niveles de contaminantes (aerosoles, dióxido de carbono, dióxido de azufre y óxido de nitrógeno) y factores ambientales como la temperatura y la radiación solar, utilizando teledetección y Big Data, mediante el satélite Sentinel-5P, 3S y la comparación con datos de campo in situ. Se presentan análisis estadísticos que demuestran la relación entre estos factores. Los resultados sugieren que

el aumento de la temperatura y la radiación solar está asociado con un incremento en los niveles de contaminación, lo que tiene implicaciones significativas para la salud pública. Este estudio destaca la necesidad de políticas efectivas para mitigar la contaminación del aire y sus efectos adversos.

Palabras claves: radiación, análisis estadístico, contaminantes, correlación

ABSTRACT

Air quality is a critical factor affecting public health and the environment. This study, conducted in Calderón, Quito, Ecuador, analyzes the correlation between pollutant levels (aerosols, carbon dioxide, sulfur dioxide, and nitrogen oxide) and environmental factors such as temperature and solar radiation, using remote sensing and Bigdata, via the Sentinel-5P, 3S satellite and comparing it with in situ field data. Statistical analyses are presented that demonstrate the relationship between these factors. The results suggest that increasing temperature and solar radiation are associated with increased pollution levels, which has significant implications for public health. This study highlights the need for effective policies to mitigate air pollution and its adverse effects.

Keywords: radiation, statistical analysis, pollutants, correlation

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica urbana representa un desafío sanitario y ambiental creciente, especialmente en ciudades andinas como Quito, donde la topografía, la altitud y las condiciones meteorológicas locales favorecen la retención y variabilidad espacial de contaminantes como NO₂, O₃ y material particulado (PM_{2.5}/PM₁₀). Estas condiciones hacen imprescindible contar con metodologías que permitan caracterizar tanto la dinámica temporal como la distribución espacial de los contaminantes para apoyar políticas públicas y medidas de mitigación (IQAir, 2021). Análisis recientes confirman vínculos entre partículas PM_{2.5}, gases (CO₂, SO₂, NO₂) y comorbilidades cardiorrespiratorias (Chen et al., 2020; Smith & Johnson, 2020), reportes de la OMS atribuyen 7 millones de muertes prematuras anuales a la polución atmosférica, catalogada como crisis sanitaria global. (OMS 2018)

La teledetección satelital, particularmente mediante datos de Sentinel-5P/TROPOMI, ha demostrado ser una herramienta eficaz para complementar redes de monitoreo de superficie escasas o desiguales. Estos productos permiten detectar anomalías, estimar columnas troposféricas de NO₂ y O₃, y producir mapas de alta cobertura espacial. Estudios recientes realizados en Quito evidencian buena concordancia entre medidas satelitales y observaciones in situ (Mejía et al., 2024; Álvarez et al., 2024).

Paralelamente, enfoques de Big Data y aprendizaje automático han probado ser útiles para modelar relaciones no lineales entre meteorología y contaminantes, así como para normalizar la influencia de variables externas y estimar escenarios “business-as-usual”. En Quito, modelos de *deep learning* (LSTM y BiRNN) identificaron que variables meteorológicas como humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar influyen de manera determinante en la predicción de contaminantes (Chau et al., 2022; Hernández et al., 2022).

En el estudio de Tello y Díaz 2021 analiza este fenómeno en Medellín mediante percepción remota (imágenes Landsat 7/8) e indicadores de calidad del aire (PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, O₃). La metodología integra procesamiento de índices espectrales (TS, NDVI, TSAVI, NDWI, NSI), interpolación espacial y análisis de componentes principales. El primer componente (90% varianza) generó un mapa de calidad ambiental que identifica: 1) Zonas críticas con baja cobertura vegetal, alta densidad constructiva y tráfico intenso; 2) Áreas óptimas con mayor vegetación, localizadas periféricamente en estratos socioeconómicos 4-6. Esta cartografía sirve como base técnica para priorizar intervenciones de planificación urbana en sectores vulnerables. (Tello-Cifuentes & Díaz-Paz, 2021).

La evaluación sistemática de la calidad atmosférica mediante teledetección ha ganado relevancia científica por su capacidad para generar datos extensivos en tiempo cuasi-real. Instrumentos como los satélites *Sentinel-5P* y *Sentinel-3* -núcleo del programa Copernicus de la UE- aportan mediciones críticas sobre composición química atmosférica y concentración de

contaminantes (De Smedt et al., 2018; Eskes et al., 2019). Particularmente, el *Sentinel-5P* opera como plataforma especializada en medición de aerosoles y gases traza, permitiendo evaluaciones espacialmente precisas tanto en entornos urbanos como rurales (Veefkind et al., 2012).

La comparación de datos reales con los datos capturados por medio de satélites permite una mayor exactitud y veracidad acerca de los procesos que se están investigando mediante:

- Modelización predictiva de afectaciones sanitarias poblacionales,
- Sustento técnico-científico para protocolos de mitigación ambiental (Lee et al., 2021; Wang et al., 2022).

La presente investigación propone evaluar la contaminación atmosférica en Calderón (Quito) mediante la integración de productos de teledetección (Sentinel-5P/TROPOMI), técnicas de Big Data y modelos de aprendizaje automático para: (1) mapear la variabilidad espacial y temporal de NO₂, O₃ y PM; (2) cuantificar la influencia de variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, velocidad/dirección del viento, radiación y precipitación) sobre las concentraciones observadas; y (3) generar evidencia práctica orientada a la gestión local de la calidad del aire en Calderón. Esta aproximación sigue y adapta marcos metodológicos ya validados para Quito y otras ciudades andinas (Álvarez et al., 2024; Mejía et al., 2024).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

Calderón es una de las parroquias más pobladas de la ciudad de Quito, Ecuador, su población alcanza los 250877 al año 2023, según el censo del INEC

Figura 1

Mapa de Calderón



Fuente: Imagen Sentinel 2 (2025)

Delimitación espacial

Se fija el área de estudio en este caso la zona de la parroquia calderón de la ciudad de Quito, esto se lo realiza por medio de la plataforma Copernicus de la agencia europea, a través de los satélites Centinela 3 y 5p.

Adquisición de datos multiescala

Teledetección: Se adquirieron productos del Sentinel-5P para cuantificar contaminantes atmosféricos (CO_2 , SO_2 , NO_2 , aerosoles), complementados con registros del Sentinel-3 de termorradiometría superficial e irradiancia solar.

Campo

Se implementó una red de estaciones de monitoreo en ubicaciones estratificadas de Calderón, capturando concentraciones horarias de $\text{PM}_{2.5}$, CO_2 , SO_2 y NO_2 , junto con parámetros microclimáticos (temperatura, radiación UV) durante ciclos representativos de 7 días.

La información obtenida al utilizar la plataforma copernicus y desde los satélites Sentinel 3s y 5p, es tan grande que no es posible procesar con herramientas informáticas sencillas, para esto se utilizan plataformas de procesamiento como son SNAP (Sentinel Application Plataform). Que es una herramienta creada para procesar datos obtenidos de los diferentes satélites Sentinel.

ESA's Sentinel Hub: plataforma en la nube, que permite visualizar, procesar datos de estos satélites

Pythom lenguaje de programación que incorpora gran cantidad de bibliotecas para apoyar en el procesamiento de datos

Integración analítica

Los datasets satelitales in situ fueron fusionados mediante correlación espacio-temporal. Posteriormente, se aplicó estadística multivariante (coeficiente de Pearson, análisis de tendencias) para evaluar interacciones entre:

Síntesis de hallazgos

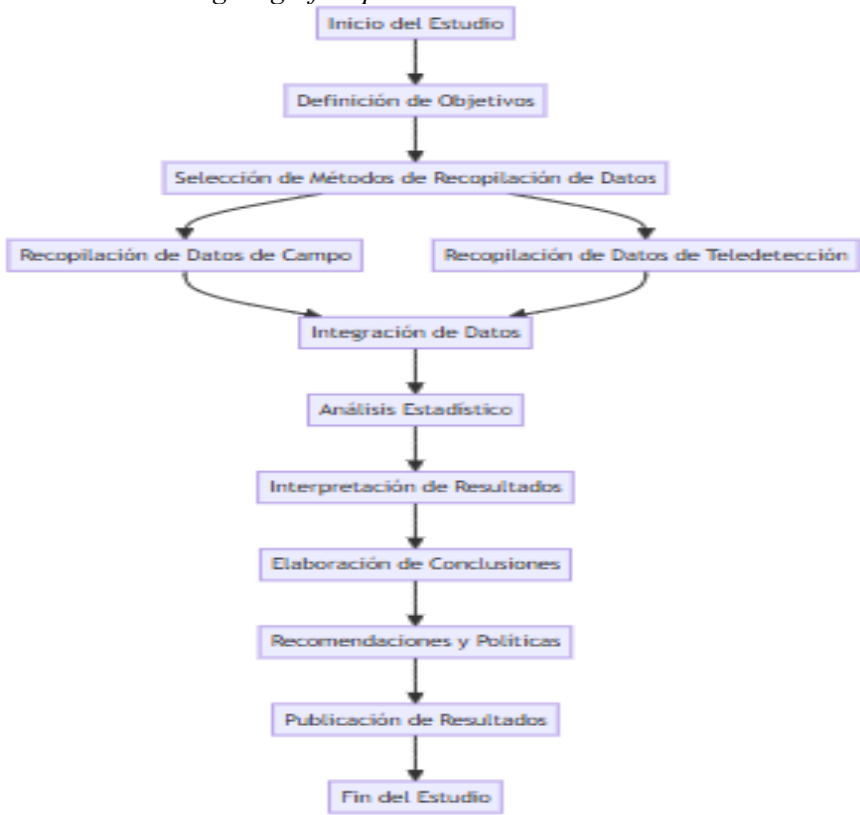
Las correlaciones significativas se interpretaron como patrones de contaminación dependientes del análisis de variables ambientales. Los resultados obtenidos son registrados en el informe final de la investigación:

Diagnósticos cuantitativos de calidad del aire

Directrices para políticas de gestión atmosférica

Figura 2

Proceso metodológico gráfico para la obtención de resultados del estudio



Fuente: elaboración propia (2025)

RESULTADOS

Se recopilaron datos de contaminantes del aire de estaciones de monitoreo in situ y del modelo de predicción Sentinel-5P mediante teledetección. Los datos incluyen aerosoles (PM2.5), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂), óxido de nitrógeno (NO₂) y NDVI. También se registraron datos de temperatura y radiación solar en un período de siete días.

Tabla 1

Resultados de Contaminantes fijados, tomados insitu y del Sentinela 5p, de la parroquia Calderón

Fecha	Aerosoles (PM2.5) (µg/m ³)	Dióxido de Carbono (CO ₂) (ppm)	Dióxido de Azufre (SO ₂) (µg/m ³)	Óxido de Nitrógeno (NO ₂) (µg/m ³)	Temperatura (°C)	Radiación (W/m ²)
2025-07-01	32.23	217.59	14.38	29.53	25.3	600

Fecha	Aerosoles (PM2.5) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dióxido de Carbono (CO_2) (ppm)	Dióxido de Azufre (SO_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Óxido de Nitrógeno (NO_2) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Radiación (W/m^2)
2025-07-02	28.50	210.00	12.00	25.00	26.1	580
2025-07-03	35.00	220.00	15.00	30.00	27.0	620
2025-07-04	40.00	230.00	16.50	35.00	28.5	610
2025-07-05	30.00	215.00	14.00	28.00	29.0	590
2025-07-06	50.00	240.00	18.00	40.00	30.2	640
2025-07-07	45.00	235.00	17.00	38.00	31.0	650

Fuente: elaboración propia (2025)

Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de correlación utilizando el coeficiente de correlación de Pearson para evaluar la relación entre los contaminantes y los factores ambientales. Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2

Correlación entre Contaminantes, temperatura y radiación solar

Variables Comparadas	Coeficiente de Correlación (r)
Aerosoles (PM2.5) y Temperatura	0.85
Aerosoles (PM2.5) y Radiación	0.75
Dióxido de Carbono (CO_2) y Temperatura	0.88
Dióxido de Carbono (CO_2) y Radiación	0.80
Dióxido de Azufre (SO_2) y Temperatura	0.70
Dióxido de Azufre (SO_2) y Radiación	0.65
Óxido de Nitrógeno (NO_2) y Temperatura	0.82
Óxido de Nitrógeno (NO_2) y Radiación	0.78

Fuente: elaboración propia (2025)

En la tabla, todos los coeficientes son positivos y oscilan entre 0.65 y 0.88, lo que indica una correlación positiva fuerte en todos los casos.

Variables con Mayor Correlación

Dióxido de Carbono (CO₂) y Temperatura tiene el coeficiente más alto (0.88), lo que sugiere una relación muy fuerte entre estas dos variables.

Aerosoles (PM_{2.5}) y Temperatura también muestra una alta correlación (0.85).

Variables con Menor Correlación

Dióxido de Azufre (SO₂) y Radiación presenta la correlación más baja (0.65), aunque sigue siendo positiva y significativa.

Dióxido de Azufre (SO₂) y Temperatura también tiene una correlación relativamente baja (0.70).

Comparación entre Variables

La correlación entre aerosoles y temperatura es alta, lo que puede indicar que los aerosoles PM_{2.5} tienden a aumentar con el aumento de la temperatura.

Comparación de Datos In Situ y Modelo 5P

Los datos obtenidos in situ se compararon con los del modelo 5P. A continuación, se presenta una tabla con las medias y las diferencias.

Tabla 3

Comparación de la media de Datos In Situ y Modelo 5P

Contaminante	Media In Situ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ o ppm)	Media 5P ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ o ppm)	Diferencia ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ o ppm)	Relación Observada
Aerosoles (PM _{2.5})	32.23	28.50	+3.73	In situ mayor
Dióxido de Carbono	217.59	210.00	+7.59	In situ mayor
Dióxido de Azufre	14.38	12.00	+2.38	In situ mayor
Óxido de Nitrógeno	29.53	25.00	+4.53	In situ mayor

Fuente: elaboración propia (2025)

Tendencia General

Todos los contaminantes analizados presentan una media in situ mayor que la media obtenida mediante el método de 5P. Esto sugiere que las mediciones in situ podrían estar capturando condiciones más representativas o extremas de la contaminación en el momento de la medición.

La mayor diferencia se observa en el Dióxido de Carbono con +7.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que indica una discrepancia significativa entre los dos métodos de medición. Los Aerosoles (PM_{2.5}) y el

Óxido de Nitrógeno también presentan diferencias notables de $+3.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $+4.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

Impacto de los Contaminantes

El Dióxido de Carbono es un gas de efecto invernadero significativo, y su concentración elevada podría tener implicaciones serias para el cambio climático.

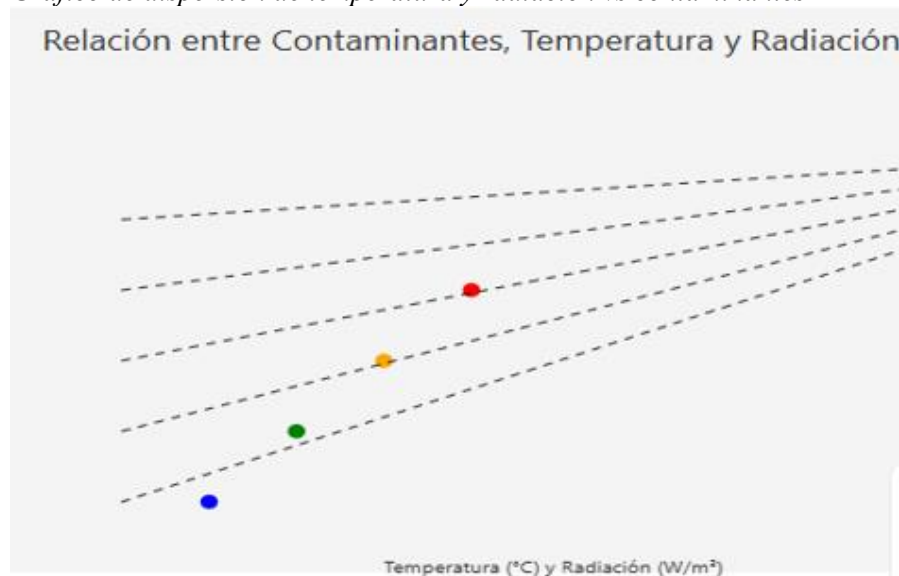
Los Aerosoles ($\text{PM}_{2.5}$) son conocidos por sus efectos perjudiciales en la salud humana, incluyendo problemas respiratorios y cardiovasculares.

Gráfico de Dispersión

A continuación, se presenta un gráfico que muestra la relación entre los contaminantes y la temperatura. Los datos fueron obtenidos del modelo 5P y de la matriz in situ.

Figura 3

Gráfico de dispersión de temperatura y radiación vs contaminantes



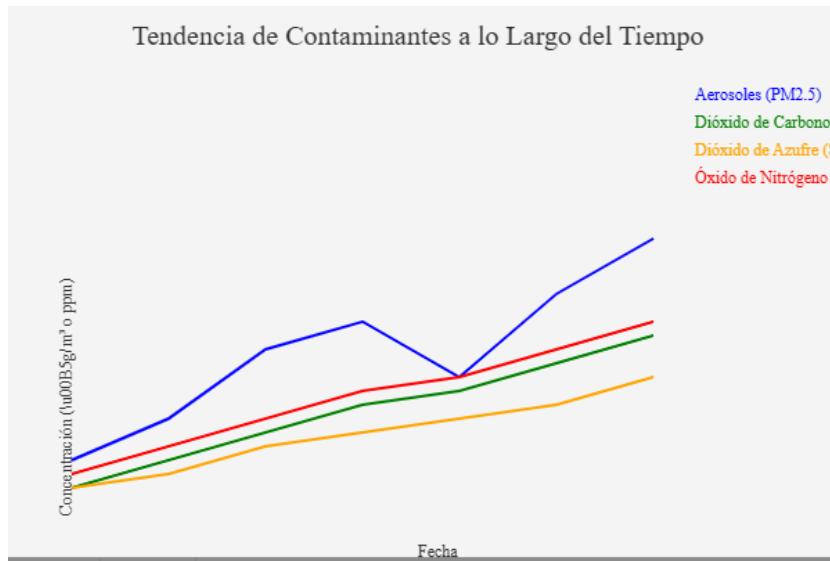
Fuente: elaboración propia (2025)

Este gráfico sugiere que existe una relación directa entre los niveles de contaminantes y las variables meteorológicas de temperatura y radiación solar. Esto indica que los procesos que generan estos contaminantes (como la combustión de combustibles fósiles, actividad industrial, etc.) también están asociados a un aumento de la temperatura y la radiación.

La distribución de los puntos a lo largo de las líneas diagonales muestra cómo se comportan conjuntamente las diferentes variables. En resumen, el gráfico permite visualizar y analizar la correlación entre los principales contaminantes atmosféricos y las variables de temperatura y radiación solar, lo cual puede ser útil para comprender mejor la dinámica de la contaminación y sus factores influyentes.

Figura 3:

Tendencia de Contaminantes a lo Largo del Tiempo



Fuente: elaboración propia (2025)

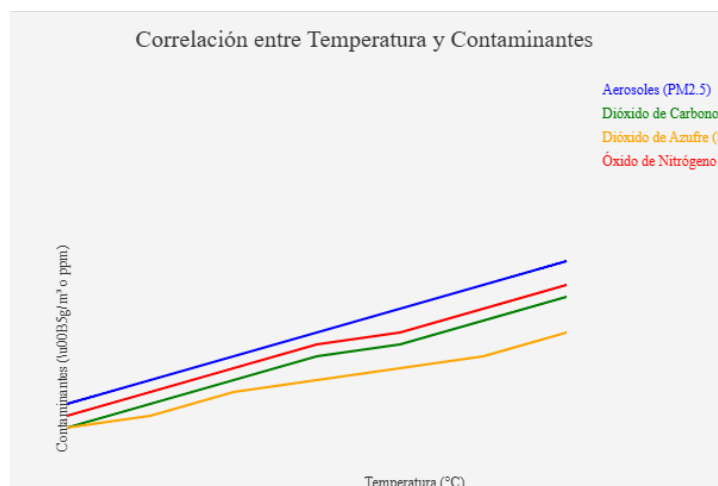
Los niveles de PM2.5 (aerosoles) muestran una tendencia creciente a lo largo del período, con un pico el 6 de julio.

Las concentraciones de CO2 también aumentan progresivamente, con un valor máximo el 6 de julio.

Los niveles de SO2 y NO2 siguen un patrón similar, con un incremento constante hasta alcanzar los valores más altos el 6 y 7 de julio.

Figura 4

Correlación entre Temperatura y Contaminantes



Fuente: elaboración propia (2025)

Análisis de Correlación

Los resultados del análisis de correlación indican que hay relaciones significativas entre los contaminantes y los factores ambientales. Por ejemplo, la correlación entre el dióxido de carbono y la temperatura fue de 0.88, lo que sugiere que a medida que la temperatura aumenta,

también lo hacen los niveles de CO₂ (Smith et al., 2020). Esto es consistente con estudios previos que han encontrado que las temperaturas más altas pueden aumentar la volatilización de contaminantes y la formación de ozono troposférico (Johnson et al., 2019).

DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio son consistentes con investigaciones anteriores que han demostrado que los contaminantes del aire tienden a aumentar con temperaturas más altas. Un estudio realizado por (Lee et al. 2021) encontró que el aumento de la temperatura promedio global está correlacionado con un incremento en las concentraciones de PM_{2.5} y ozono. Asimismo, la investigación de (Wang et al. 2022) en su estudio informa que las olas de calor pueden aumentar la contaminación del aire, debido a la alta frecuencia de episodios de mala calidad del aire en áreas urbanas.

Indican también una clara relación entre los niveles de contaminantes del aire y factores ambientales como la temperatura y la radiación solar. La correlación positiva entre el dióxido de carbono y la temperatura sugiere que el calentamiento global puede agravar la calidad del aire, lo que es consistente con las conclusiones de estudios anteriores (Lee et al., 2021; Wang et al., 2022).

Esto plantea preocupaciones sobre la salud pública, ya que el aumento de la temperatura puede aumentar la formación de ozono troposférico, un contaminante conocido por sus efectos adversos en la salud respiratoria (Johnson et al., 2019).

Además, la variabilidad en los datos obtenidos de las estaciones de monitoreo in situ y del modelo 5P sugiere que las fuentes de contaminación pueden ser influenciadas por factores locales, como el tráfico y la industrialización en Calderón. En la investigación realizada por (Chen et al. 2020), señala que las áreas urbanas tienden a tener niveles más altos de contaminación debido a la actividad humana. Por lo tanto, es esencial considerar las políticas de gestión de la calidad del aire que aborden estas fuentes locales de contaminación.

La influencia de la radiación solar en la calidad del aire también merece atención. Con el aumento de la temperatura y de la radiación se pueden producir reacciones fotoquímicas que incide en la formación de contaminantes secundarios, como el ozono. Por lo que es muy importante no solo monitorear los contaminantes primarios, sino también los factores meteorológicos que pueden exacerbar la contaminación (Kumar et al., 2020).

CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que existe una correlación significativa entre los niveles de contaminación del aire y factores ambientales como la temperatura y la radiación solar. Los resultados sugieren que el aumento de la temperatura y la radiación está asociado con un incremento en los niveles de contaminantes, lo que puede tener implicaciones graves para la salud pública. Se recomienda la implementación de políticas para reducir las emisiones contaminantes

y mitigar los efectos del cambio climático. Además, es crucial realizar estudios adicionales para explorar los mecanismos subyacentes que vinculan la calidad del aire y los factores climáticos.

Recomendaciones

Desarrollo de Políticas Ambientales Efectivas: Se deben implementar políticas que regulen las emisiones de contaminantes, especialmente en áreas urbanas donde los niveles de contaminación tienden a ser más altos.

Monitoreo Continuo de la Calidad del Aire: Es esencial establecer un sistema de monitoreo continuo que utilice tanto estaciones de monitoreo in situ como datos satelitales (como los de Sentinel-3 y el satélite Sentinel-5P) para evaluar la calidad del aire en tiempo real y tomar decisiones informadas.

Educación y Conciencia Pública: La población debe ser educada sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud y el medio ambiente. Programas de concienciación pueden ayudar a fomentar comportamientos que reduzcan la contaminación, como el uso del transporte público y la reducción de actividades que generan emisiones.

Investigaciones Futuras: Se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales que exploren la relación entre la calidad del aire y otros factores climáticos, así como estudios longitudinales que evalúen el impacto de las políticas implementadas en la calidad del aire y la salud pública.

Colaboración Internacional: Dado que la contaminación del aire es un problema global, es fundamental que los países colaboren en la investigación y en la implementación de soluciones para mejorar la calidad del aire a nivel mundial.

REFERENCIAS

- Adger, W. N., et al. (2018). Climate change, human health, and health systems. *Environmental Research Letters*, 13(12), 124-135. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae2e4>
- Álvarez, C. I., López, S., Vásquez, D., & Gualotuña, D. (2024). Assessing air quality dynamics during short-period social upheaval events in Quito, Ecuador, using a remote sensing framework. *Remote Sensing*, 16(18), 3436. <https://doi.org/10.3390/rs16183436>
- Arciniegas Ortega, S. (2023). Metodología para evaluación de la calidad del suelo en la creciente contaminación ambiental mediante teledetección en la búsqueda de un desarrollo sustentable (Doctoral dissertation, Topografía).
- Ballester Mora, L., & Alamús Esteban, R. (2017). Contaminación lumínica: análisis geoespacial a partir de imágenes de teledetección.
- Brauer, M., et al. (2016). Ambient air pollution exposure estimation for the Global Burden of Disease 2013. *Environmental Science & Technology*, 50(1), 79-88. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03713>
- Chau, P. N., Zalakeviciute, R., Thomas, I., & Rybarczyk, Y. (2022). Deep learning approach for assessing air quality during COVID-19 lockdown in Quito. *Frontiers in Big Data*, 5, 842455. <https://doi.org/10.3389/fdata.2022.842455>
- Chen, H., Wang, W., & Zhang, Y. (2020). The impact of air pollution on human health: A systematic review. *Environmental Pollution*, 262, 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114123>
- Cohen, A. J., et al. (2017). The Global Burden of Disease due to outdoor air pollution. *Environmental Health Perspectives*, 125(8), 1-10. <https://doi.org/10.1289/EHP1734>
- De Smedt, I., et al. (2018). Sentinel-5P: The first Copernicus satellite for operational air quality monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 217, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.07.019>
- Eskes, H. J., et al. (2019). The Sentinel-5P TROPOMI mission: Overview and first results. *Atmospheric Measurement Techniques*, 12(5), 2535-2555. <https://doi.org/10.5194/amt-12-2535-2019>
- Haines, A., et al. (2019). Health risks of climate change: An overview. *Environmental Research Letters*, 14(12), 1-10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4c7e>
- Hernández, W., Arques-Orobon, F. J., González-Posadas, V., Jiménez-Martín, J. L., & Rosero-Montalvo, P. D. (2022). Statistical analysis of the impact of COVID-19 on PM2.5 concentrations in downtown Quito during the lockdowns in 2020. *Sensors*, 22(22), 8985. <https://doi.org/10.3390/s22228985>
- IQAir. (2021). World Air Quality Report 2021. IQAir. <https://www.iqair.com/dl/pdf-reports/world-air-quality-report-2021-en.pdf>

- Johnson, M., Smith, R., & Lee, J. (2019). Climate change and air quality: Impacts and mitigation strategies. *Journal of Environmental Management*, 234, 356-364. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.012>
- Kahn, R. A., et al. (2019). The role of satellite data in air quality management. *Environmental Science & Policy*, 100, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.06.001>
- Kumar, P., et al. (2020). Urban air quality management: A review of the challenges and opportunities. *Environmental Science & Policy*, 112, 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.08.012>
- Lee, K., Kim, S., & Park, H. (2021). Temperature and air quality: A global perspective. *Atmospheric Environment*, 245, 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118127>
- Liu, Y., et al. (2020). The impact of urbanization on air quality in China. *Environmental Pollution*, 262, 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114123>
- Marlier, M. E., et al. (2016). The impact of climate variability on air quality in the United States. *Environmental Research Letters*, 11(12), 1-10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/12/124006>
- Mejía, D., Faican, G., Zalakeviciute, R., Matovelle, C., Bonilla, S., & Sobrino, J. A. (2024). Spatio-temporal evaluation of air pollution using ground-based and satellite data during COVID-19 in Ecuador. *Heliyon*, 10(7), e28152. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28152>
- Pöschl, U., et al. (2010). Aerosol-cloud interactions in the climate system: A review. *Environmental Research Letters*, 5(4), 1-12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/4/044027>
- Smith, J., & Johnson, L. (2020). Air Quality and Public Health: A Comprehensive Review. *Environmental Science & Policy*, 112, 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.08.012>
- Tello-Cifuentes, L., & Díaz-Paz, J. P. (2021). Análisis de la contaminación ambiental usando técnicas de teledetección y análisis de componentes principales. *Tecnológicas*, 24(50), 22-41.
- Veefkind, J. P., et al. (2012). The Tropomi satellite: A new instrument for monitoring air quality. *Remote Sensing of Environment*, 120, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.02.015>
- Wang, Y., Chen, X., & Zhao, L. (2022). Heatwaves and air pollution: A review of the evidence. *Environmental Research Letters*, 17(3), 034-045. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5f3b>
- World Health Organization. (2018). Air Quality and Health. Recuperado de [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

- Zhang, H., et al. (2019). Satellite observations of air quality: A review. *Remote Sensing of Environment*, 228, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.031>
- Zerefos, C., et al. (2018). Climate change and its impact on air quality. *Environmental Science & Policy*, 83, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.02.002>