ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.970

Air quality in a high Andean city during November and December, 2023

Quispe Quincho Liz Norma, Bachiller[1] , Angeles Suazo Julio Miguel, Doctor[1]
[1]Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernandez Morillo, Pampas-Perú

Abstract– ***Pampas is a district located in the central Peruvian Andes; and the present contribution estimates the air quality during November and December 2023 in the district of Ahuaycha located in the department of Huancavelica - Peru. To estimate the air quality, the MINAM methodology is used for particles in fine and coarse mode. Where the results obtained were that the air quality for the months of November to December 2023 is Good; the opposite occurs on the days of November 13 and December 31, which are classified as moderate. Therefore, it is concluded that the vehicle fleet, like the festivities, can increase the concentration of particulate matter; and therefore it would be harmful to people's health, since over time it can cause different types of diseases when exposed to this air quality.***

Keywords—air quality; Ahuaycha; meteorology.

Digital Object Identifier:

ISSN: **ISBN:**

Calidad de aire de una ciudad altoandina durante noviembre y diciembre, 2023

Quispe Quincho Liz Norma, Bachiller[1] , Angeles Suazo Julio Miguel, Doctor[1]
[1]Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernandez Morillo, Pampas-Perú

Resumen- ***Pampas, es un distrito ubicado en los Andes centrales peruanos; y la presente contribución estima la calidad de aire durante noviembre y diciembre de 2023 en el distrito de Ahuaycha localizado en el departamento de Huancavelica - Perú. Para estimar la calidad de aire se utilizo la metodologia del MINAM para particulas en moda fina y gruesa. Donde se obtuvo como resultados que la calidad de aire para los meses de noviembre a diciembre de 2023 es Bueno; caso contrario ocurre en los dias 13 de noviembre y 31 de diciembre que se clasifica como moderado. Por ello se concluye que el parque automotor como las festividades pueden elevar la concentración de material particulado; y por ende sería perjudicial para la salud de las personas, ya que con el paso del tiempo puede causar distintos tipos de enfermedades al estar expuestas a esta calidad de aire.***

Palabras clave: calidad de aire, Ahuaycha, meteorologia.

I. Introducción

En las últimas décadas, la contaminación por partículas finas (PM2.5) se ha convertido en un problema ambiental importante. La contaminación por PM2.5 afecta negativamente a la visibilidad, el entorno ecológico y la salud humana [1]. Se han realizado varios estudios para aclarar la relación entre los mecanismos de transporte regional de los eventos de contaminación y las condiciones meteorológicas [2], [3]. Además, muchos estudios se han centrado en los elementos meteorológicos durante los eventos de contaminación. Durante los eventos de contaminación, se observan a menudo velocidades de viento bajas y capas límite estables [4], [5]. PM 2.5 es reconocido como uno de los principales contaminantes del aire en el Perú, en la ciudad de Lima se atribuyen a este contaminante 2 300 muertes prematuras al año y también las partículas están estrechamente asociadas con los efectos adversos graves para la salud, como la disminución de la esperanza de vida, el aumento de la morbilidad, el cáncer de pulmón y las enfermedades respiratorias y cardiacas crónicas [6]. Un informe que utilizó datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016-2019), estimó que alrededor de 4,2 millones de personas están expuestas a niveles de contaminación del aire que acortan la vida, principalmente debido a PM2.5; también el 31% de las muertes prematuras asociadas a la contaminación del aire exterior se ha relacionado con un mayor riesgo de padecer cardiopatía isquémica y accidente cerebrovascular, los cuales representan el 18% y el 23% de las muertes asociadas a enfermedades.

De acuerdo con la [7] la contaminación del aire es un problema escala global, un cambio adverso en las propiedades químicas, biológicas y físicas del aire, que se considera una amenaza para el ambiente y las personas, y que provoca efectos adversos como el deterioro y degradación de las condiciones de vida humanas de los recursos naturales existentes, que siempre deben ser monitoreados para evitar consecuencias.

Las partículas en suspensió de PM10 y PM2.5 son los principales factores de riesgo para la salud [8], y la exposición a PM10 y PM2.5 puede provocar infecciones respiratorias, enfisema, reducción de la función pulmonar e incluso cardiopatía pulmonar crónica [9], [10]. Cada contaminante tiene efectos distintos sobre la salud, por lo que es crucial evaluar la distribución acumulada de la exposición de la población a la contaminación del aire y cuantificar los riesgos para la salud en regiones específicas. El índice de calidad del aire (ICA) se utiliza ampliamente para evaluar la calidad del aire. El ICA se basa en el contaminante individual con la concentración más alta entre los seis contaminantes mencionados anteriormente, y puede subestimar los niveles reales de contaminación del aire, en particular durante episodios de contaminación intensa[11], [12]. Por ello la presente investigación es evaluar la calidad de aire en el distrito de Ahuaycha durante noviembre y diciembre de 2023

II. Materiales y métodos

A. Lugar de estudio

El lugar de estudio esta ubicado a la altura de 3,253.7 m.s.n.m, en las coordenadas 12°23’45.44” S y 74°53’19.47” O, estos datos geográficos son fundamental para entender el efecto del material particulado (PM2.5 y PM10) en la salud de las personas en el distrito de Ahuaycha (Fig. 1).

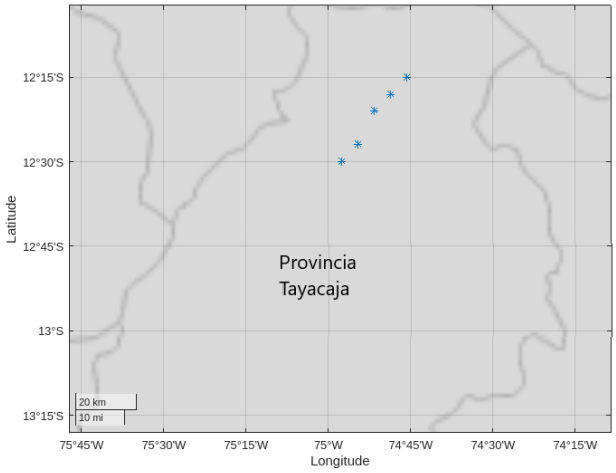

Fig. 1 Mapa del distrito de Ahuaycha

B. *Calculo de indice de calidad de aire*

El Índice de Calidad del Aire (INCA) tiene un valor óptimo entre 0 y 100, que cumple con los Estándares de Calidad Ambiental del Aire. El INCA se divide en cuatro categorías o calificaciones de calidad del aire para una mejor comprensión. La banda verde significa que la calidad del aire es buena, con valores de 0 a 50. La banda amarilla significa una calidad de aire moderada, con valores de 51 a 100. La banda anaranjada, con valores de 101 y el valor umbral del estado de cuidado (VUEC) del contaminante, señala una mala calidad del aire. Finalmente, la banda roja evidencia que la calidad es mayor al valor umbral del estado de cuidado del contaminante, y a partir de este valor se aplican los Niveles de Estados de Alerta Nacionales por parte de la autoridad de Salud(Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM, 2016). Las Tablas 1, 2 y 3 muestran los cálculos del INCA para los contaminantes referidos en este estudio.

TABLA I
Calificación de los valores INCA.

Calificación	***Valores INCA***	***Colores***
Bueno	*0-50*	*Verde*
Moderado	*51-100*	*Amarillo*
Malo	*101-VUEC**	*Anaranjado*
VUEC*	*>VUEC**	*Rojo*

Fuente: (Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM, 2016)

TABLA II
Cálculo INCA para Material Particulado (PM10) 24 horas.

Material particulado (`PM10) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	*Intervalo de concentraciones (ug/m^3)*	*Ecuación*
0-50	*0-75*	$I(PM10) = \frac{((PM10) \times 100)}{150}$
51-100	*76-150*	
101-167	*151-250*	
>167	*>250*	

Fuente:(Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM, 2016)

TABLA III
Cálculo INCA para Material Particulado (PM2.5) 24 horas.

Material particulado (`PM2,5) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	*Intervalo de concentraciones (ug/m^3)*	*Ecuación*
0-50	*0-12.5*	$I(PM2.5) = \frac{((PM2.5) \times 100)}{25}$
51-100	*12.6-25*	
101-500	*25.1-125*	
>500	*>125*	

Fuente:(Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM, 2016)

C. *Sensor Purple air*

El Purple Air PA-II -SD (Fig. 2) es un monitor de calidad del aire exterior diseñado para usos residenciales, comerciales e industriales. Utiliza detectores de partículas láser duales para proporcionar mediciones en tiempo real de partículas PM1.0, PM2.5 y PM10. El Purple Air PA-II funciona con una fuente de alimentación pequeña, impermeable y enchufable, por lo que debe montarse cerca de un entorno exterior[13].

Fig. 2 Sensor de colector de material Particulado

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

D. Material particulado

En la fig. 3, se muestra la concentración de material particulado PM2.5 en noviembre y diciembre del 2023, representada mediante diagramas de caja. La mediana de ambos meses es 4 ug/m^3 donde son similares durante este periodo. Las concentracion mas alta alcanzo en diciembre con un valor de 14 ug/m^3 y el valor minimo para ambos meses fue de 0.5 ug/m^3.

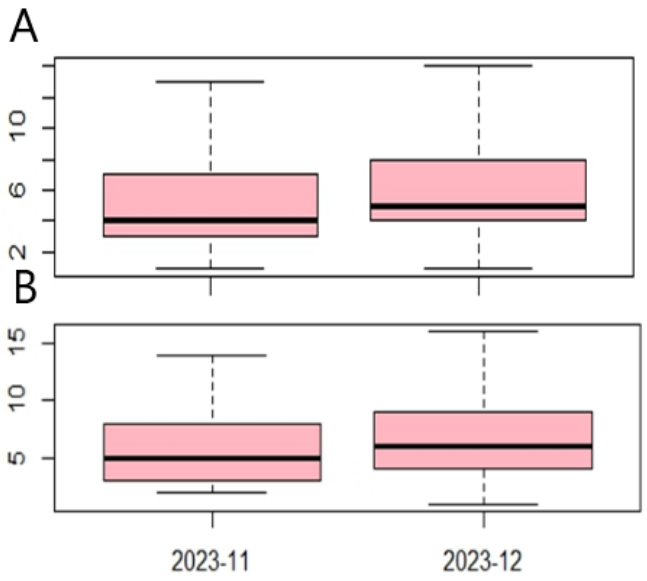

Fig. 3 Concentración de Material Particulado A. PM2.5 y B. PM10 (ug/m^3).

En la fig. 4B, muestra la concentración de material particulado PM10 en noviembre y diciembre del 2023, representada mediante diagramas de caja. La mediana de ambos meses es 5 ug/m^3 donde son similares durante este periodo. Las concentracion mas alta alcanzo en diciembre con un valor de 16 ug/m^3 y el valor minimo fue en diciembre con un valor de 0.5 ug/m^3.

Fig. 4 Concentración de PM2.5 (ug/m^3)

En la fig. 5, se muestra la concentración de PM10, donde las concentraciones mas altas fue el dia 13 de noviembre y el 31 de noviembre que llegaron has 12 ug/m^3. Por ello podemos decir que al estar expuestas a estas altas concentraciones es muy perjudicial porque causa daños a la salud de las personas.

Fig. 5 Concentración de PM10 (ug/m^3)

E. Calidad de aire

Fig. 6A, se muestra el índice de calidad del aire para PM2.5, donde la calidad del aire es bueno, lo que quiere decir que el entorno es saludable y no provocara daños en la salud de las personas al estar expuestas. Esto se debe a la presencia de lluvias las cuales mantiene húmedo la tierra que hace que se minimice la existencia de material particulado al transitar los vehículos en las vías sin pavimentar.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación que se desarrolló en el distrito Ahuaycha, provincia Tayacaja, región Huancavelica; los días críticos fueron el 13 noviembre y 31 de diciembre del año 2023, por ende las concentraciones registradas de material particulado moda fina en un solo punto de monitoreo fue 10 ug/m3 lo cual fue significativo para determinar las índices de concentración más altos, esto debido a la presencia del parque automotor que genera concentraciones máximas de masa de material particulado moda fina (PM2.5). En la Fig. 6B, se muestra el índice de calidad del aire para PM10, donde la calidad del aire es bueno en ambos meses, lo que quiere decir que el entorno es saludable y no provocara daños en la salud de las personas al estar expuestas.

.

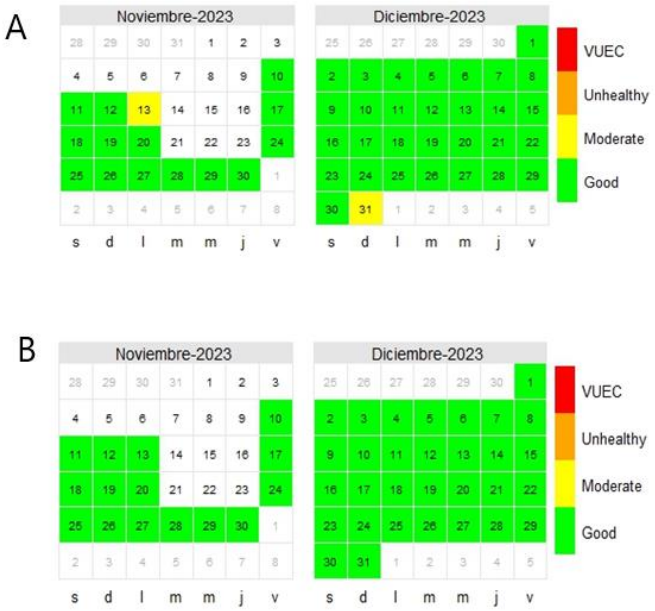

Fig. 6 Índice de calidad del aire de A. PM2.5 y B. PM10 (ug/m^3) para noviembre y diciembre 2023

El índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado moda gruesa (PM10 en el distrito Ahuaycha- Tayacaja- Huancavelica 2023; la concentración de material particulado de moda gruesa (PM10) con relación al ECA, todos los días fueron buenos, por ende, se concluye que el índice de concentración de material particulado de moda gruesa no supera los valores máximos según los Estándares de Calidad de Aire (50 ug/m^3). Estos resultados no guardan relación con la tesis de Francisco (2021), ante la problemática de la contaminación en Arequipa, en el ovalo San Lázaro ubicado en el cercado esta ciudad, se realizó un estudio para la caracterización el material particulado PM10 y PM2,5 y así evaluar la calidad del aire atmosférico que respira la población del Ovalo San Lázaro; para poder caracterizar el material particulado se realizó un monitoreo ambiental en la estación CA-1 ubicada en la Calle Santa Catalina 509, cerca de la Plaza San Lázaro, dicho monitoreo tuvo una duración de 24 horas y los resultados obtenidos después del monitoreo para el material particulado PM10 fue de 145 ug/m^3 lo cual evidencia que el PM10 excede con los Estándares de Calidad Ambiental según el D.S. 003-2017 y además se encontró que la dirección del viento y la época del año influyen en los resultados.

Las regulaciones actuales favorecen la reducción de las concentraciones másicas de PM2,5, pero no consideran el hecho de que los aerosoles podrían estar más cargados de especies nocivas para la salud humana [14]–[16]. Se realizaron múltiples estudios para comprender la toxicidad de las partículas en función de su composición química [17]–[19], pero dicha tarea es complicada debido a las grandes diferencias en la morfología de las partículas, las fuentes, los procesos de envejecimiento y el tamaño del aerosol cuando se inhala.

Los riesgos de mortalidad relacionados con el calor aumentaron con niveles más altos de PM, aumentando un 6,4 % (IC del 95 %: − 2,0 %–15,7 %), un 10,7 % (2,6 %–19,5 %) y un 14,1 % (4,4 %–24,6 %) con niveles bajos, medios y altos de PM, respectivamente. Esta modificación del efecto fue constante en las regiones urbanas y rurales, pero más pronunciada en las regiones no costeras. Además, las asociaciones entre el calor y la mortalidad fueron ligeramente más fuertes con niveles altos de O3, en particular en regiones con poca vegetación [20].

La calidad del aire en las zonas rurales es el resultado del cruce de masas de aire envejecidas transportadas desde las zonas urbanas con emisiones locales dominadas por la agricultura y la vegetación. El resultado es una mezcla compleja de especies atmosféricas primarias y secundarias, procedentes de diversas fuentes y áreas geográficas. Se llevó a cabo una campaña de campo de un año en un sitio rural ubicado entre París y Bruselas desde marzo de 2018 hasta febrero de 2019. Las concentraciones anuales de PM2.5 de 12.2 ±9.23 μg m− 3 se explicaron por cuatro fuentes extraídas a través de análisis de factorización de matriz positiva: combustión (40.2%), rica en NO3 (26.8%), rica en SO4 (18%) y marina envejecida mixta (15%) [21]

IV. CONCLUSIONES

El índice de calidad del aire de material particulado de moda fina (PM2,5) los días con los picos más altos fueron el 23 de noviembre y 31 diciembre de 2023 es moderado. Esto indica que es perjudicial para la salud de las personas, ya que con el paso del tiempo puede causar distintos tipos de enfermedades al estar expuestas a esta calidad de aire.

V. RECOMENDACIONES

Desarrollar e implementar estrategias de gestión de la calidad de aire para minimizar, reducir y mitigar las emisiones de concentraciones de material particulado de moda fina y gruesa, con el propósito de mejorar el bienestar público y conservar el ambiente.

Impulsar la adopción de tecnologías limpias y sostenibles, incluyendo energías renovables como la solar y la eólica, los vehículos eléctricos, medidas de eficiencia energética y prácticas de reciclaje avanzadas, con el propósito primordial de minimizar la emisión de material particulado a la atmosfera y, consecuentemente, disminuir los riesgos para el bienestar de las personas y seres vivos.

Promover la educación y conciencia: fomentar programas de sensibilización sobre los efectos de la quema y la importancia de la conservación de la flora.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo

REFERENCIAS

[1] J. Cao, X. Qiu, L. Peng, J. Gao, F. Wang, and X. Yan, "Impacts of the differences in PM2.5 air quality improvement on regional transport and health risk in Beijing–Tianjin–Hebei region during 2013–2017," *Chemosphere*, vol. 297, 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134179.

[2] Z. Dai, D. Liu, K. Yu, L. Cao, and Y. Jiang, "Meteorological variables and synoptic patterns associated with air pollutions in eastern china during 2013–2018," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 7, 2020, doi: 10.3390/ijerph17072528.

[3] D. Gao *et al.*, "Systematic classification of circulation patterns and integrated analysis of their effects on different ozone pollution levels in the Yangtze River Delta Region, China," *Atmos. Environ.*, vol. 242, 2020, doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.117760.

[4] Y. Cheng, K. Bin He, Z. Y. Du, M. Zheng, F. K. Duan, and Y. L. Ma, "Humidity plays an important role in the PM2.5 pollution in Beijing," *Environ. Pollut.*, vol. 197, 2015, doi: 10.1016/j.envpol.2014.11.028.

[5] C. Song, T. Pei, and L. Yao, "Analysis of the characteristics and evolution modes of PM2.5Pollution Episodes in Beijing, China during 2013," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 12, no. 2, 2015, doi: 10.3390/ijerph120201099.

[6] I. J. Lizarraga-Isla, J. E. Pomalaya-Valdez, L. F. Suarez-Salas, and Y. Bendezu-Roca, "Dispersion of particulate material 2.5 emitted by roasted chicken restaurants using the aermod model in huancayo metropolitan, peru | Dispersión de material particulado 2.5 emitido por pollerías usando el modelo aermod en huancayo metropolitano, perú," *DYNA*, vol. 86, no. 211, pp. 346–353, 2019, doi: 10.15446/dyna.v86n211.78812.

[7] P. Yin *et al.*, "The effect of air pollution on deaths, disease burden, and life expectancy across China and its provinces, 1990–2017: an analysis for the Global Burden of Disease Study 2017," *Lancet Planet. Heal.*, vol. 4, no. 9, 2020, doi: 10.1016/S2542-5196(20)30161-3.

[8] G. Luo, L. Zhang, X. Hu, and R. Qiu, "Quantifying public health benefits of PM2.5 reduction and spatial distribution analysis in China," *Sci. Total Environ.*, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137445.

[9] J. Lelieveld, J. S. Evans, M. Fnais, D. Giannadaki, and A. Pozzer, "The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale," *Nature*, 2015, doi: 10.1038/nature15371.

[10] A. Jbaily *et al.*, "Air pollution exposure disparities across US population and income groups," *Nature*, vol. 601, no. 7892, 2022, doi: 10.1038/s41586-021-04190-y.

[11] X. Li *et al.*, "The construction and validity analysis of AQHI based on mortality risk: A case study in Guangzhou, China," *Environ. Pollut.*, vol. 220, 2017, doi: 10.1016/j.envpol.2016.09.091.

[12] J. Hu, Q. Ying, Y. Wang, and H. Zhang, "Characterizing multi-pollutant air pollution in China: Comparison of three air quality indices," *Environ. Int.*, vol. 84, 2015, doi: 10.1016/j.envint.2015.06.014.

[13] T. A. Endale, G. A. Raba, K. T. Beketie, G. L. Feyisa, and H. B. Gebremichael, "Assessment of particulate matter and particle path trajectory analysis using a HYSPLIT model over Dire Dawa, Ethiopia," *Discov. Appl. Sci.*, vol. 6, no. 3, 2024, doi: 10.1007/s42452-024-05741-4.

[14] F. R. Cassee, M. E. Héroux, M. E. Gerlofs-Nijland, and F. J. Kelly, "Particulate matter beyond mass: Recent health evidence on the role of fractions, chemical constituents and sources of emission," *Inhalation Toxicology*, vol. 25, no. 14. 2013, doi: 10.3109/08958378.2013.850127.

[15] S. Achilleos, M. A. Kioumourtzoglou, C. Da Wu, J. D. Schwartz, P. Koutrakis, and S. I. Papatheodorou, "Acute effects of fine particulate matter constituents on mortality: A systematic review and meta-regression analysis," *Environment International*, vol. 109. 2017, doi: 10.1016/j.envint.2017.09.010.

[16] B. Guo *et al.*, "Long-term exposure to ambient PM2.5 and its constituents is associated with MAFLD," *JHEP Reports*, vol. 5, no. 12, 2023, doi: 10.1016/j.jhepr.2023.100912.

[17] S. J. Campbell *et al.*, "Atmospheric conditions and composition that influence PM2.5 oxidative potential in Beijing, China," *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 21, no. 7, 2021, doi: 10.5194/acp-21-5549-2021.

[18] L. Liu, Y. Zhang, Z. Yang, S. Luo, and Y. Zhang, "Long-term exposure to fine particulate constituents and cardiovascular diseases in Chinese adults," *J. Hazard. Mater.*, vol. 416, 2021, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126051.

[19] Y. Yang *et al.*, "Short-term and long-term exposures to fine particulate matter constituents and health: A systematic review and meta-analysis," *Environmental Pollution*, vol. 247. 2019, doi: 10.1016/j.envpol.2018.12.060.

[20] S. Zhang *et al.*, "Effect modification of air pollution on the association between heat and mortality in five European countries," *Environ. Res.*, vol. 263, no. P1, p. 120023, 2024, doi: 10.1016/j.envres.2024.120023.

[21] P. Espina-Martin, E. Perdrix, L. Y. Alleman, and P. Coddeville, "Origins of the seasonal variability of PM2.5 sources in a rural site in Northern France," *Atmos. Environ.*, vol. 333, no. March, p. 120660, 2024, doi: 10.1016/j.atmosenv.2024.120660.