



Nivel de contaminación del aire urbano por partículas suspendidas respirables (PM-10 y PM-2,5)

Urban air pollution level by respirable suspended particles (PM-10 and PM-2.5)

Rojas-Bardález, Alfonso^{1*}

Guerra-Saldaña, Miguel¹

¹Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú

Recibido: 19 May. 2022 | **Aceptado:** 25 Jun. 2022 | **Publicado:** 20 Jul. 2022

Autor de correspondencia*: arojas@unsm.edu.pe

Cómo citar este artículo: Rojas-Bardález, A. & Guerra-Saldaña, M. (2022). Nivel de contaminación del aire urbano por partículas suspendidas respirables (PM-10 y PM-2,5). *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 1(2), e373. <https://doi.org/10.51252/reacae.v1i2.373>

RESUMEN

Las poblaciones diariamente se encuentran expuestas a partículas suspendidas respirables que resultan ser un problema en todas las ciudades del planeta poniendo en riesgo la calidad del aire y salud del ser humano, es ante ello que se desarrolló el presente estudio en el ámbito de la cuenca del Alto Mayo, en la cual se encuentran comprendidas las localidades de Naranjos, Nueva Cajamarca, Segunda Jerusalén, Rioja y Moyobamba, lugares donde se realizaron los monitoreos. Se contempló como objetivos la determinación de la concentración de partículas suspendidas respirables menores a 10 micras (PM-10) y menor a 2.5 micras (PM-2.5). La metodología utilizada para la determinación de las concentraciones fue por método gravimétrico, del cual se obtuvo que durante el periodo de muestreo (4 meses), en todos los puntos el valor obtenido de PM-10, no supera el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para 24 horas de 100 ug/m³; sin embargo, las localidades de Nueva Cajamarca y Moyobamba presentan los valores más altos, asimismo, en todos los puntos de muestreo el valor obtenido de PM-2.5, tampoco superan el ECA para 24 horas de 50 ug/m³, siendo las localidades de Nueva Cajamarca y Moyobamba quienes presentan los valores más altos.

Palabras clave: aire; calidad; material particulado PM-10; material particulado PM-2,5

ABSTRACT

The populations are daily exposed to breathable suspended particles that turn out to be a problem in all the cities of the planet, putting at risk the quality of the air and the health of the human being, it is in response to this that the present study was developed in the area of the river basin Alto Mayo, which includes the towns of Naranjos, Nueva Cajamarca, Segunda Jerusalem, Rioja and Moyobamba, places where the monitoring was carried out. The determination of the concentration of breathable suspended particles smaller than 10 microns (PM-10) and smaller than 2.5 microns (PM-2.5) was considered as objectives. The methodology used to determine the concentrations was by gravimetric method, from which it was obtained that during the sampling period (4 months), at all points the value obtained for PM-10 does not exceed the Environmental Quality Standard (ECA) for 24 hours of 100 ug/m³; however, the towns of Nueva Cajamarca and Moyobamba have the highest values, likewise, at all sampling points the value obtained for PM-2.5 does not exceed the ECA for 24 hours of 50 u/m³, with the towns of Nueva Cajamarca and Moyobamba who present the highest values.

Keywords: air; quality; particulate matter PM-10; particulate matter PM-2.5



1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es el principal riesgo para la salud ambiental que afecta la salud humana (Samoli et al., 2005), siendo peligrosamente elevados en diferentes partes del mundo que de acuerdo a nuevos datos donde nueve de diez personas respiran aire con elevados niveles de contaminantes (Organización Mundial de la Salud, 2018). Debido a los procesos de deposición húmeda y seca los contaminantes pueden asentarse de manera fácil en el suelo, vegetación, ecosistemas, agua y materiales de construcción (Saxena & Sonwani, 2019).

El material particulado (PM) se define como un contaminante del aire microscópico extendido que consiste en partículas sólidas y líquidas (a excepción del agua pura) suspendidas en la atmósfera del aire (Jaenicke, 2001; Fang et al., 2003), pudiendo dispersarse a partir de fuentes naturales (partículas de polvo del desierto, aerosoles de sal marina, incendios forestales) o procesos de combustión, actividades industriales y calefacción comunitaria (OECD, 2001). El PM incluye iones de metales y metales pesados (potasio, sodio, calcio, magnesio, cadmio, cobre, níquel, vanadio y zinc), sulfatos, nitratos, amonio y otros compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, como por ejemplo alérgenos y microbios compuestos, siendo las partículas primarias que se liberan directamente a la atmósfera, y en tanto, las secundarias que se forman mediante la transformación de los precursores (WHO, 2013).

Las partículas transportadas por el aire se han relacionado con un aumento de la mortalidad y la morbilidad (Adar et al., 2014), siendo capaces de penetrar a lo largo de todo el sistema respiratorio hasta los pulmones, produciendo irritaciones e incidiendo en diversos daños a los órganos respiratorios (EPA, 2022; Wark & Warner, 2012), es así que el material particulado PM_{2,5} es un excelente indicador de los efectos de los contaminantes primarios en la salud de la población, resultando necesario la implementación de medidas para la minimización del material particulado en las grandes ciudades del mundo (Linares & Díaz, 2009).

Del mismo modo, entre los efectos del material particulado en el ambiente también se encuentran la corrosión acelerada de los metales, daños a las pinturas, esculturas y superficies expuestas al suelo de las estructuras construidas por el hombre, pudiendo modificar el clima mediante la formación de nubes y nieve, y contribuyendo además a la deposición ácida y hasta llegar a absorber radiación solar e impedir o reducir la visibilidad (Sanchez, 2011). Por acción del viento, las partículas son transportadas a través de largas distancias, pudiendo instalarse en el suelo o el agua, cuyos efectos de sedimentación pueden que los lagos y arroyos se vuelvan ácidos, cambio en el balance nutricional de las aguas costeras y de las grandes cuencas fluviales, reducción de los nutrientes del suelo, daño en los bosques sensibles y cultivos agrícolas, efectos perjudiciales sobre la diversidad de ecosistemas y la contribución a los efectos de la lluvia ácida (EPA, 2022).

Debido a la consideración del aire como un bien común limitado, indispensable para la vida, a raíz del cual su utilización debe estar sujeta a normas que eviten el deterioro de su calidad por el uso o abuso indebido del mismo, para lograr preservar su pureza como garantía del normal desarrollo de los seres vivos sobre la tierra y de la conservación del patrimonio natural y artístico de la humanidad, se desarrolló este estudio, la misma que persiguió como objetivos determinar la concentración de partículas suspendidas respirables menores a 10 micras (PM-10) y 2,5 micras (PM-2,5) en la zona del Alto Mayo, de la región San Martín.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se determinaron cinco puntos de muestreo de partículas suspendidas respirables, en las localidades de Naranjos, Nueva Cajamarca, Segunda Jerusalén, Rioja y Moyobamba; donde en puntos estratégicos se evaluaron las concentraciones de partículas suspendidas respirables (PM-2,5 y PM-10), para ello se empleó un muestreador de alto volumen para las partículas de mayor diámetro, en tanto para la medición de partículas menores a 2,5 micras se usó un muestreador de bajo volumen.

Los puntos de muestreo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Ubicación de puntos de muestreo

| N° | Descripción |
|---------|--------------------------------|
| Punto 1 | Localidad de Naranjos |
| Punto 2 | Localidad de Nueva Cajamarca |
| Punto 3 | Localidad de Segunda Jerusalén |
| Punto 4 | Localidad de Rioja |
| Punto 5 | Localidad de Moyobamba |

El muestreo se inició en el mes de septiembre de 2015 y finalizó en noviembre del mismo año. Se establecieron los muestreos con frecuencia de colección de cada 15 días. Las muestras fueron establecidas de 24 h de muestreo continuo en filtro de fibra de cuarzo de 8x10. Para el número de blancos de campo se seleccionaron cinco filtros (100% del total de muestras).

La información generada durante el muestreo fue registrada en un formato de hoja de campo. Cabe mencionar que las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5} en µg/m³ se determinaron de acuerdo a la metodología descrita en la Norma Oficial Mexicana (NOM-035-SEMARNAT-1993), la cual considera la diferencia del peso inicial (WI) y final (wf) en microgramos (µg), el volumen de aire promedio (Vp) en m³ obtenido durante el periodo de muestreo de 24 h y las condiciones de temperatura y presión del sitio de muestreo.

- a) Método de medición de partículas en suspensión menores a 10 micras, PM₁₀:** El método utilizado fue la EPA IO 2,1 que coincide con lo descrito en el *Appendix J Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM₁₀ in the Atmosphere* (Federal Register, 1987). Se utilizó el muestreador de alto volumen, con cabezal fraccionador de partículas, de diámetro inferior a 10 micras, del tipo impactación selectiva y control de volumen volumétrico. El rango de flujo de medición, aceptable para esta metodología de medición es de 1,13 m³ /min +/- 10%, para un periodo de medición de 24 +/- 1 hora según la EPA y de 18 horas según la DIGESA.
- b) Método de medición de partículas en suspensión menores a 2,5 micras, PM_{2,5}:** El aire del ambiente fue introducido en la unidad de bajo volumen PM 2,5 a un flujo de 16,7 l/min a través de una abertura situada en el cabezal. El flujo pasa a una cámara donde la velocidad se regula mediante el propio sistema, a su vez pasa a través de una malla diseñada para prevenir el paso de insectos y desechos suspendidos en el aire hasta el sistema de fraccionamiento. Las partículas con diámetro superior a 2,5 micras impactan sobre una placa, sumergida en aceite, a su vez el equipo cuenta con un sistema de filtro para humedad y aceite, los cuales son contenidos en un frasco de vidrio externo. Las partículas menores a 2,5 micras son retenidas en el filtro.

La determinación de pesos de los filtros de PM_{2,5} y PM₁₀, se realizó por gravimetría, determinando el peso constante antes y después del monitoreo, aplicándose el primero para PM_{2,5} y el segundo para PM₁₀:

Método IO-3,1; *Selection, Preparation and Extraction of Filter Material. Compendium of Methods the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air* EPA/625/R-96/010^a. Center for Environmental Research Information Office of Research and Development U.S Environmental Protection Cincinnati, OH 45 268 June 1999. Método IO-2.1; *Compendium method IO-2,1 Sampling of Ambient Air for Total Suspended Particulate Matter (SPM) and PM 10 Using High Volume (HV) Sampler*. June 1999.

El procesamiento de los datos se realizó mediante la aplicación de la estadística descriptiva, para determinar el promedio, desviación estándar, varianza y sobre todo la dispersión de los datos (muestras). El análisis de los datos se realizó mediante gráficos y tablas, para verificar la tendencia y proyección de los datos, y finalmente determinar la influencia entre las variables.

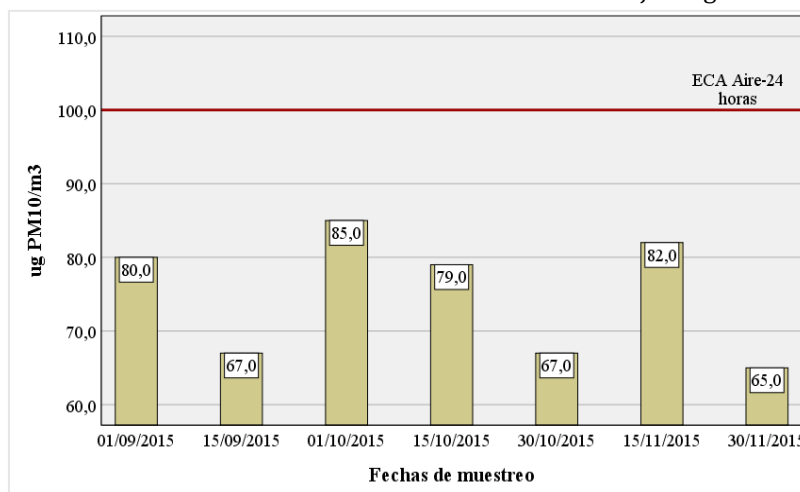
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

De acuerdo a las muestras obtenidas en campo y analizadas en laboratorio durante los cuatro meses de monitoreo, se obtuvieron los siguientes resultados:

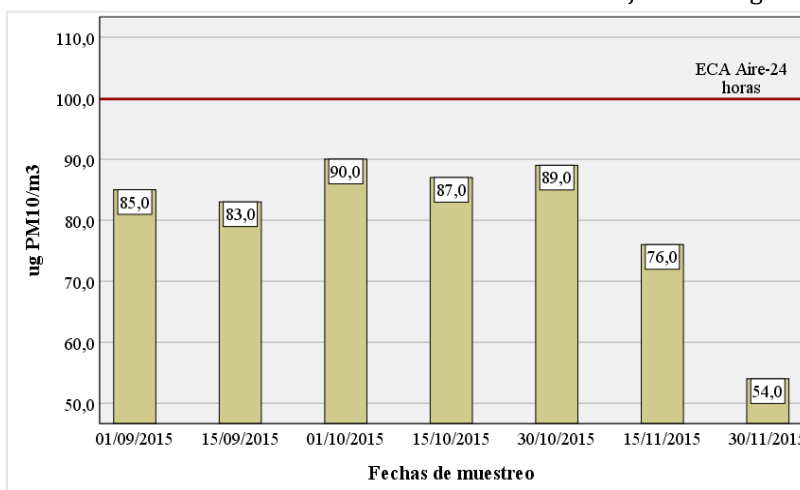
Resultados de PM-10 según fechas de muestreo en las diferentes localidades del Alto Mayo

Figura 1. Resultados de monitoreo de PM-10 en la localidad de Naranjos según fechas de muestreo



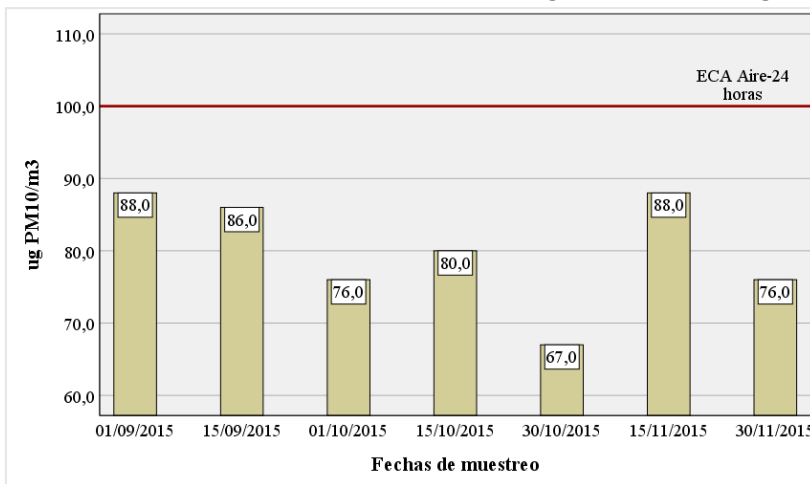
En la Figura 1, se muestra que en los cuatro meses de muestreo los valores encontrados en el punto 01 (Localidad de Naranjos) no superan el estándar de calidad ambiental establecido en 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, se tiene que la mayor y menor concentración de PM-10 registrada fue de 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 01/10/2015 y de 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 30/11/2015, respectivamente.

Figura 2. Resultados de monitoreo de PM-10 en la localidad de Nueva Cajamarca según fechas de muestreo



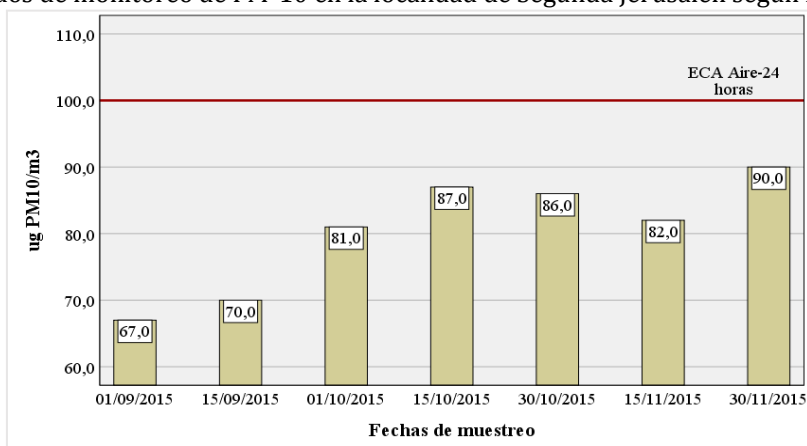
En la Figura 2, se evidencia que en los cuatro meses de muestreo los valores encontrados en el punto 02 (Localidad de Nueva Cajamarca) no superan el estándar de calidad ambiental establecido en 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, se tiene que la mayor y menor concentración de PM-10 registrada fue de 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 01/10/2015 y de 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 30/11/2015, respectivamente.

Figura 3. Resultados de monitoreo de PM-10 en la localidad de Segunda Jerusalén según fechas de muestreo



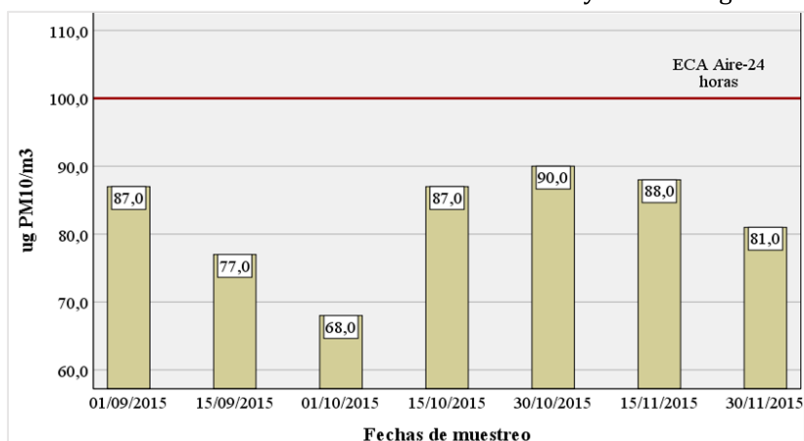
En la Figura 3, se observa que en los cuatro meses de muestreo los valores encontrados en el punto 03 (Localidad de Segunda Jerusalén) no superan el estándar de calidad ambiental establecido en 100 µg/m³. Asimismo, se tiene que la mayor y menor concentración de PM-10 registrada fue de 88 ug/m³ el 01/09/2015 y 15/11/2015; y de 67 ug/m³ el 30/10/2015, respectivamente.

Figura 4. Resultados de monitoreo de PM-10 en la localidad de Segunda Jerusalén según fechas de muestreo



En la Figura 4, se muestra que en los cuatro meses de muestreo los valores encontrados en el punto 04 (Localidad de Rioja) no superan el estándar de calidad ambiental establecido en 100 µg/m³. Asimismo, se tiene que la mayor y menor concentración de PM-10 registrada fue de 90 ug/m³ el 30/11/2015 y de 67 ug/m³ el 01/09/2015, respectivamente.

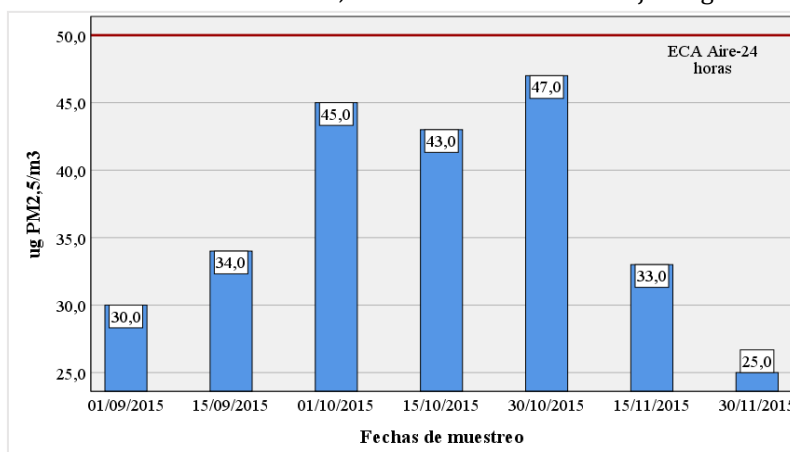
Figura 5. Resultados de monitoreo de PM-10 en la localidad de Moyobamba según fechas de muestreo



En la Figura 5, se observa que en los cuatro meses de muestreo los valores encontrados en el punto 05 (Localidad de Moyobamba) no superan el estándar de calidad ambiental establecido en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, se tiene que la mayor y menor concentración de PM-10 registrada fue de $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 30/10/2015 y de $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 01/10/2015, respectivamente.

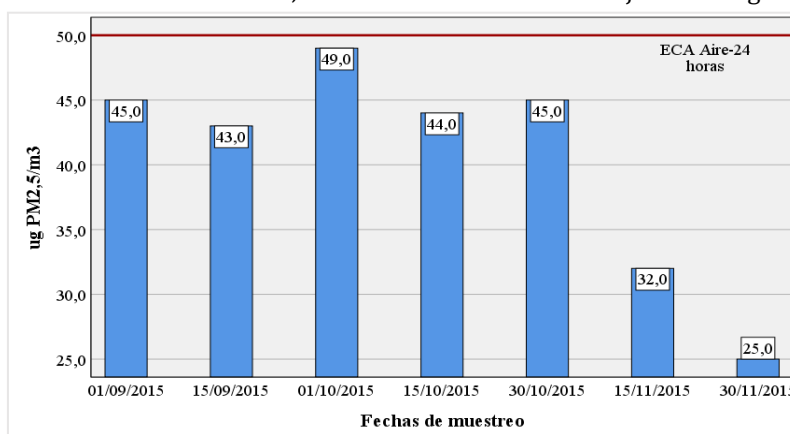
Resultados de PM-2,5 según fechas de muestreo en las diferentes localidades del Alto Mayo

Figura 6. Resultados de monitoreo de PM-2,5 en la localidad de Naranjos según fechas de muestreo



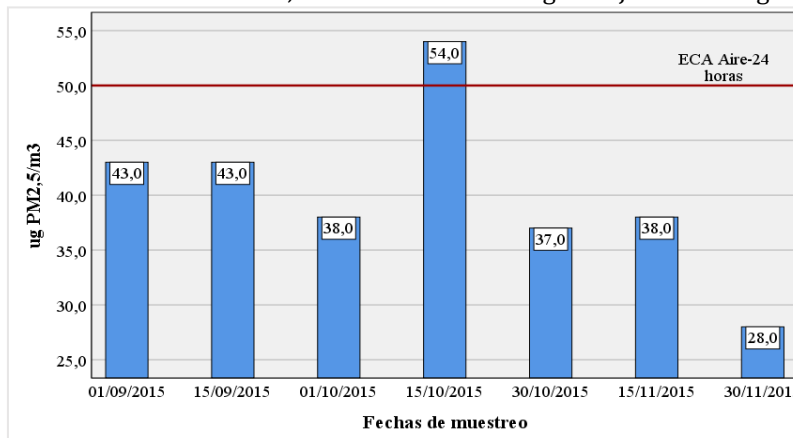
En la Figura 6, se muestra que en los cuatro meses de muestreo los valores encontrados en el punto 01 (Localidad de Naranjos) no superan el estándar de calidad ambiental establecido para 24 horas en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, se tiene que la mayor y menor concentración de PM-2,5 registrada fue de $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 30/10/2015 y de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 30/11/2015, respectivamente.

Figura 7. Resultados de monitoreo de PM-2,5 en la localidad de Nueva Cajamarca según fechas de muestreo



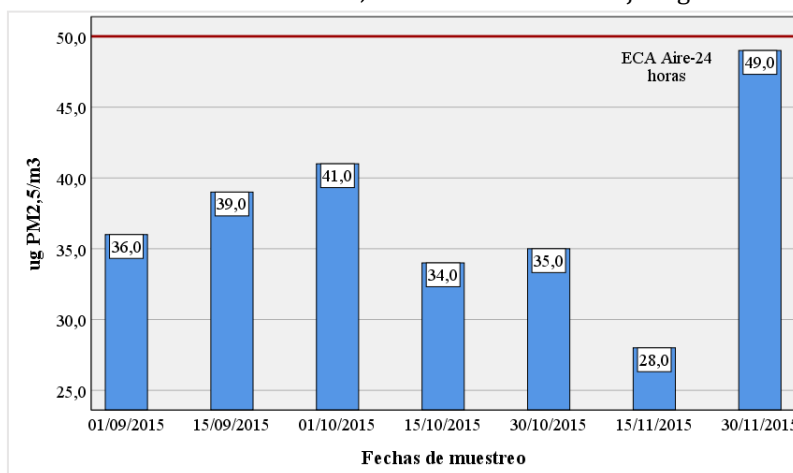
En la Figura 7, se demuestra que en los cuatro meses de muestreo los valores encontrados en el punto 02 (Localidad de Nueva Cajamarca) no superan el estándar de calidad ambiental establecido para 24 horas en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, se tiene que la mayor y menor concentración de PM-2,5 registrada fue de $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 01/10/2015 y de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 30/11/2015, respectivamente.

Figura 8. Resultados de monitoreo de PM-2,5 en la localidad de Segunda Jerusalén según fechas de muestreo



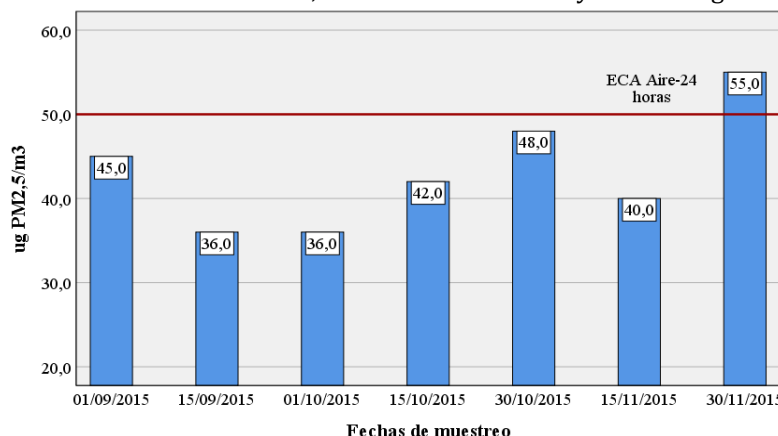
En la Figura 8, se evidencia que en los cuatro meses de muestreo los valores encontrados en el punto 03 (Localidad de Segunda Jerusalén) no superan el estándar de calidad ambiental establecido para 24 horas en 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a diferencia del muestreo en el día 15/10/2015 con 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que a la vez fue la mayor concentración de PM-2,5 y la menor fue de 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 30/11/2015, respectivamente.

Figura 9. Resultados de monitoreo de PM-2,5 en la localidad de Rioja según fechas de muestreo.



En la Figura 9, se observa que en los cuatro meses de muestreo los valores encontrados en el punto 04 (Localidad de Rioja) no superan el estándar de calidad ambiental establecido para 24 horas en 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, se tiene que la mayor y menor concentración de PM-2,5 registrada fue de 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 30/11/2015 y de 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 15/10/2015, respectivamente.

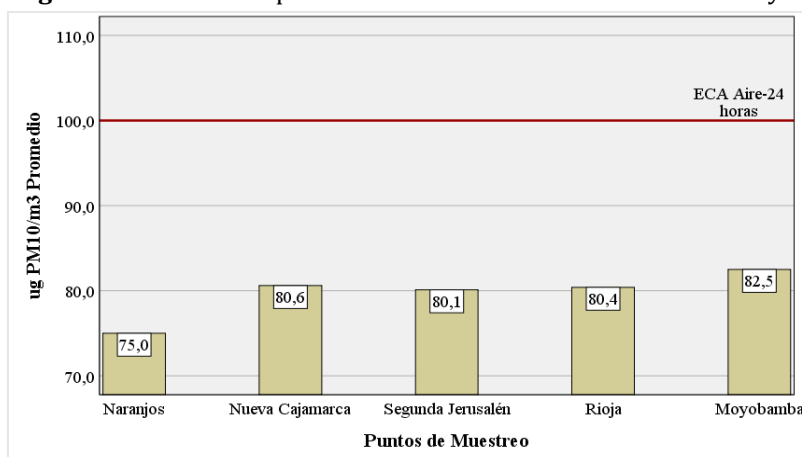
Figura 10. Resultados de monitoreo de PM-2,5 en la localidad de Moyobamba según fechas de muestreo.



En la Figura 10, se evidencia que en los cuatro meses de muestreo los valores encontrados en el punto 03 (Localidad de Segunda Jerusalén) no superan el estándar de calidad ambiental establecido para 24 horas en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a diferencia del muestreo en el día 30/11/2015 con $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que a la vez fue la mayor concentración de PM-2,5 y la menor fue de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ las fechas 15/09/2015 y 01/10/2015, respectivamente.

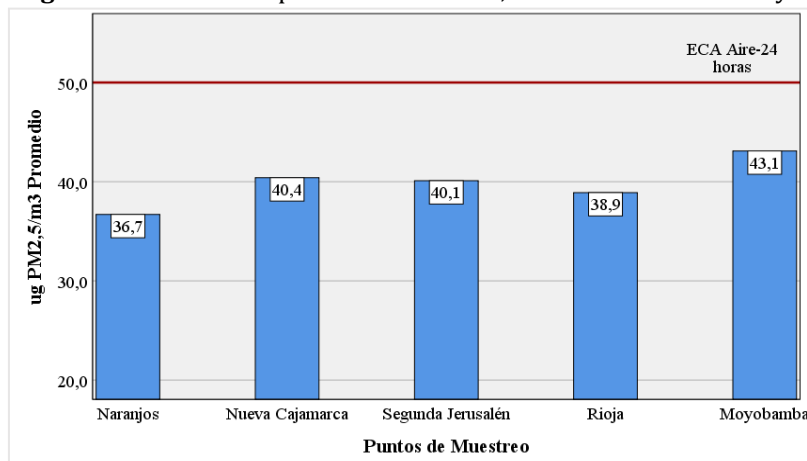
Resultados promedios de PM-10 y PM-2,5 según fechas de muestreo en las diferentes localidades del Alto Mayo

Figura 11. Resultados promedios de PM-10 en la zona del Alto Mayo



En la Figura 11, se muestra que el punto de muestreo 2 (Localidad de Nueva Cajamarca) y punto de muestreo 5 (Localidad de Moyobamba) presentan los valores promedios más altos durante el periodo de muestreo, pero sin embargo no superan el estándar de calidad establecido de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, se determinó que la menor concentración de PM-10 se registró en el punto 1 (Localidad de Naranjos).

Figura 12. Resultados promedios de PM-2,5 en la zona del Alto Mayo



En la Figura 12, se observa que el punto de muestreo 2 (Localidad de Nueva Cajamarca) y punto de muestreo 5 (Localidad de Moyobamba) presentan los valores promedios más altos durante el periodo de muestreo, por otro lado, se determinó que la menor concentración de PM-2,5 se registró en el punto 1 (Localidad de Naranjos). En tanto ninguno de los valores promedios determinados superan el estándar de calidad establecido para 24 horas de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.2. Análisis de varianza

Tabla 2. Análisis de varianza

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------|----------------------|
| Puntos de muestreo | 156,38 | 3 | 52,13 | 1,75 | 2,71 |
| Concentraciones | 72051,04 | 1 | 72051,04 | 2415,58 | 3,95 |
| Interacción | 163,71 | 3 | 54,57 | 1,83 | 2,71 |
| Error | 2624,83 | 88 | 29,83 | | |
| Total | 74995,96 | 95 | | | |

Respecto a los puntos de muestreo (Tabla 2), dado que $F < \text{valor crítico}$ entonces se concluye que no existen diferencias significativas entre dichos puntos evidenciándose un comportamiento homogéneo.

Se concluye que existen diferencias significativas entre las concentraciones de partículas suspendidas respirables ($\text{valor crítico} > F$), evidenciándose la mayor concentración en PM-10 (ug/m^3).

Asimismo, se demostró que no existen diferencias significativas ($F < \text{valor crítico}$) al realizar la interacción punto de muestreo y concentraciones lo cual indica que los puntos de muestreo no influyen en las concentraciones.

3.3. Discusiones

Se determinó que en ninguna de las localidades de estudio las concentraciones de PM-10 superan los estándares de calidad ambiental para aire que es de $100 \text{ ug}/\text{m}^3$, resultado que no presenta similitud con el de Ilizarbe-González et al. (2020), quienes determinaron valores máximos de PM-10 que exceden los estándares siendo $160,0$ y $295,06 \text{ ug}/\text{m}^3$ para Puente Piedra y San Juan de Lurigancho respectivamente, lo cual se asume que se debe a que estas ciudades del Perú cuentan con mayor actividad del parque automotor.

Feng et al. (2016) determinaron la existencia de una fuerte relación positiva entre PM_{2,5} y el riesgo de enfermedades de ETI en la temporada de influenza, no encontrando lo mismo en la temporada sin gripe, lo que demuestra una influencia de los elevados niveles de PM-2,5 en la salud, encontrándose en la presente investigación concentraciones de este parámetro que no exceden los ECA de 24 horas para aire, aunque ello no es una limitante para causar problemas en la salud de la población del Alto Mayo, que en los últimos años crece significativamente, a comparación de la ciudad de Beijing en China que es más desarrollada, tal y como sucede en el área urbana de la provincia de Alta Silesia en Polonia donde Kobza et al. (2018) menciona que la calidad del aire es mala debido a las concentraciones de material particulado.

Pacsi Valdivia (2016) determinó que los promedios diarios de PM₁₀ no sobrepasan los Estándares de Calidad del aire (ENCA) del Perú, resultado que es afirmado con la presente investigación determinándose que ningún muestreo realizado durante los cuatro meses en las diferentes localidades supera los estándares.

Se determinó en la presente investigación que los resultados promedio de los cuatro meses de muestreo de PM-10 oscilan entre $75,0 \text{ ug}/\text{m}^3$ y $82,5 \text{ ug}/\text{m}^3$, en tanto los de PM-2,5 se encuentran entre $36,7 \text{ ug}/\text{m}^3$ y $43,1 \text{ ug}/\text{m}^3$, que al ser comparados con los resultados de Suárez-Salas et al. (2017), que en Huancayo determinaron concentraciones entre $64,54 \pm 30,87 \text{ ug}/\text{m}^3$ para PM-10 y para PM-2,5 entre $34,47 \pm 14,75 \text{ ug}/\text{m}^3$ encontrándose similitud en los resultados sobre todo en las mayores concentraciones a diferencia de las más bajas concentraciones para ambos parámetro estableciendo que las concentraciones mínimas en la ciudad de Huancayo son mucho menores.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados se concluye que, durante el periodo de muestreo, en todos los puntos el valor obtenido de PM-10, no supera el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) cuyo valor para 24 horas es de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; sin embargo, las localidades de Nueva Cajamarca y Moyobamba presentan los valores más altos; con respecto a PM-2,5 en todos los puntos los valores obtenidos no superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) que para 24 horas es de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo las localidades de Nueva Cajamarca y Moyobamba las que presentan los valores más altos.

Se emplearon equipos de medición de alto y bajo volumen para PM-10 y PM-2,5 respectivamente, aplicándose los métodos de análisis de pesos de filtros para el primero y de gravimetría para el segundo, lo cual nos permite conocer la concentración de material particulado mediante este método, a partir de lo cual se pueden derivar nuevas investigaciones referidos a otras metodologías que permitan caracterizar el tipo de material particulado presente en el medio atmosférico.

FINANCIAMIENTO

Ninguno

CONFLICTO DE INTERESES

No existe ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la materia del trabajo.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: Rojas-Bardález, A.; Guerra-Saldaña, M.

Curación de datos: Rojas-Bardález, A.; Guerra-Saldaña, M.

Análisis formal: Rojas-Bardález, A.

Investigación: Rojas-Bardález, A.; Guerra-Saldaña, M.

Metodología: Rojas-Bardález, A.; Guerra-Saldaña, M.

Supervisión: Rojas-Bardález, A.

Redacción - borrador original: Rojas-Bardález, A.; Guerra-Saldaña, M.

Redacción - revisión y edición: Rojas-Bardález, A.; Guerra-Saldaña, M.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adar, S. D., Filigrana, P. A., Clements, N., & Peel, J. L. (2014). Ambient Coarse Particulate Matter and Human Health: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Current Environmental Health Reports*, 1, 258-274. <https://doi.org/10.1007/S40572-014-0022-Z>
- EPA. (2022, mayo 23). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente* | US EPA. Efectos sobre el medioambiente. <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>
- Fang, G. C., Chang, C. N., Chu, C. C., Wu, Y. S., Fu, P. P. C., Yang, I. L., & Chen, M. H. (2003). Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM2.5 and PM2.5-10 aerosols at a farm sampling site in Taiwan, Taichung. *Science of the Total Environment*, 308(1-3), 157-166. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00648-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00648-4)
- Feng, C., Li, J., Sun, W., Zhang, Y., & Wang, Q. (2016). Impact of ambient fine particulate matter (PM2.5) exposure on the risk of influenza-like-illness: A time-series analysis in Beijing, China. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 15(17), 1-12. <https://doi.org/10.1186/S12940-016-0115-2/FIGURES/6>

- Ilizarbe-González, G. M., Valdiviezo, L. G., Rojas Quincho, J. P., Cabello Torres, R. J., & Ugarte Alvan, C. A. (2020). Chemical Characteristics and Identification of PM₁₀ Sources in Two Lima Districts, Peru. *DYNA*, 87(215), 57-65. <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n215.83688>
- Jaenicke, R. (2001). Ernő Mészáros: Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 39, 99-103. <https://doi.org/10.1023/A:1010753724116>
- Kobza, J., Geremek, M., & Dul, L. (2018). Characteristics of air quality and sources affecting high levels of PM₁₀ and PM_{2.5} in Poland, Upper Silesia urban area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(9), 515. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6797-x>
- Linares, C., & Díaz, J. (2009). Efecto de las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM_{2.5}) sobre los ingresos hospitalarios en niños menores de 10 años en Madrid. *Gaceta Sanitaria*, 23(3), 192-197. <https://doi.org/10.1016/J.GACETA.2008.04.006>
- OECD. (2001, septiembre). *Suspended particulate matter (SPM)*. <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=2623>
- Pacsi Valdivia, S. A. (2016). Análisis temporal y espacial de la calidad del aire determinado por material particulado pm₁₀ y pm_{2.5} en lima metropolitana. *Anales Científicos*, 77(2), 273. <https://doi.org/10.21704/ac.v77i2.699>
- Samoli, E., Analitis, A., Touloumi, G., Schwartz, J., Anderson, H. R., Sunyer, J., Bisanti, L., Zmirou, D., Vonk, J. M., Pekkanen, J., Goodman, P., Paldy, A., Schindler, C., & Katsouyanni, K. (2005). Estimating the Exposure-Response Relationships between Particulate Matter and Mortality within the APHEA Multicity Project. *Environmental Health Perspectives*, 113(1), e7387. <https://doi.org/10.1289/EHP.7387>
- Sanchez, C. (2011). *Clasificación del material particulado menor de 10 micrometros PM₁₀*. <https://www.valladolid.es/es/rccava/contaminantes/material-particulado-pm10-pm2-5>
- Saxena, P., & Sonwani, S. (2019). Primary Criteria Air Pollutants: Environmental Health Effects. *Criteria Air Pollutants and their Impact on Environmental Health*, 49-82. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9992-3_3
- Suárez-Salas, L., Álvarez Tolentino, D., Bendejú, Y., & Pomalaya, J. (2017). Caracterización química del material particulado atmosférico el centro urbano de huancayo, Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(2), 187-199. <https://doi.org/10.37761/RSQP.V83I2.197>
- Wark, K., & Warner, C. (2012). *Contaminación del aire: Origen y control* (1a edición). Limusa: Noriega. https://www.biblioteca.une.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=61198&query_desc=pb%3ALimusa%3ANoriega
- WHO. (2013). - *Review of evidence on health aspects of air pollution - REVIHAAP Project, Technical Report*. World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/exceedance-of-air-quality-limit-3/who-2013>