



Efecto del material particulado y humedad de suelo en Huancayo y Pampas/Perú

Effect of particulate matter and soil humidity in Huancayo and Pampas/Peru

Efeito do material particulado e da umidade do solo em Huancayo e Pampas/Peru

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i24.319>

Julio Miguel Angeles Suazo¹
julioangeles@unat.edu.pe

Esmila Yeime Chavarría Márquez¹
esmila.418@gmail.com

Luz Luisa Huamani Astocaza¹
luzluisa20@gmail.com

Roberto Angeles Vasquez²
rangeles@uncp.edu.pe

Carmencita Lavado Meza¹
carmencita.lavado@unat.edu.pe

Mery Luz Cusiche Huamani³
meryluz814@gmail.com

¹Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Pampas, Perú

²Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú

³Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú

Artículo recibido 15 de julio 2024 / Arbitrado 25 de agosto 2024 / Publicado 20 de septiembre 2024

RESUMEN

El material particulado (MP) es un contaminante atmosférico que representa un desafío significativo para la calidad del aire en diversas ciudades, incluyendo Huancayo, Perú. El **objetivo** de este artículo es analizar desde la revisión documental el efecto del material particulado y humedad de suelo en Huancayo y Pampas/Perú. Se centra en la investigación cualitativa, el estilo de investigación es de carácter descriptivo-hermenéutico, documental y bibliográfico. La muestra son los documentos alusivos al tema tanto nacional como internacional. El diseño fue documental. Se tuvo como **resultado** que, un estudio teórico experimental sobre la influencia del material particulado (PM2.5) emitido por plantas hidrometalúrgicas en Nasca indica que este afecta la calidad del aire, del suelo y el agua en áreas circundantes. **Concluyendo** que, las concentraciones promedio de PM10 (92.3, 48.5 y 89.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y PM2.5 (14.0, 7.0 y 22.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Huancayo se encuentran dentro de los estándares de calidad ambiental.

Palabras clave: Efecto; Humedad; Material; Particulado; Suelo

ABSTRACT

Particulate matter (PM) is an atmospheric pollutant that represents a major challenge to air quality in several cities, including Huancayo, Peru. The **objective** of this article is to analyze, based on a documentary review, the effect of particulate matter and soil humidity in Huancayo and Pampas. / Peru. It focuses on qualitative research, the research style is descriptive-hermeneutical, documentary and bibliographic. The exhibition includes documents related to both national and international issues. The design was documentary. As a **result**, a theoretical and experimental study on the influence of particulate matter (PM2.5) emitted by the Nasca hydrometallurgical plants indicates that it affects the quality of the air, soil and water in the surrounding areas. **Concluding** that the average concentrations of PM10 (92.3, 48.5 and 89.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) and PM2.5 (14.0, 7.0 and 22.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in Huancayo are within environmental quality standards.

Key words: Effect; Moisture; Material; Particles; Soil

RESUMO

O material particulado (MP) é um poluente atmosférico que representa um grande desafio à qualidade do ar em diversas cidades, incluindo Huancayo, Peru. O **objetivo** deste artigo é analisar, a partir de uma revisão documental, o efeito do material particulado e da umidade do solo em Huancayo e Pampas. /Peru. Tem como foco a pesquisa qualitativa, o estilo de pesquisa é descriptivo-hermenêutico, documental e bibliográfico. A exposição inclui documentos relacionados a questões nacionais e internacionais. O design era documental. Como **resultado**, um estudo teórico e experimental sobre a influência do material particulado (PM2,5) emitido pelas usinas hidrometalúrgicas de Nasca indica que ele afeta a qualidade do ar, do solo e da água no entorno. **Concluindo** que as concentrações médias de PM10 (92,3, 48,5 e 89,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e PM2,5 (14,0, 7,0 e 22,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) em Huancayo estão dentro dos padrões de qualidade ambiental.

Palavras-chave: Efeito; Umidade; Material; Partículas; Solo

INTRODUCCIÓN

Primeramente, se debe decir que, el aumento del número de personas y vehículos en las ciudades incrementa la contaminación del aire y afecta la salud respiratoria de los residentes (1). Ahora bien, los cambios en la salud provocados por el aire procedente de fuentes móviles son comunes en las personas que viven cerca de las carreteras. Por otro lado, se dispone de pocas medidas de mitigación (2). Sin embargo, la concentración de partículas en PM10 y PM2.5 es una de las principales causas de este tipo de problemas siendo los niños los más afectados (3).

Por tanto, la calidad del aire es una capacidad importante para el bienestar humano, pero representa una amenaza constante debido a la aparición en la Tierra de varios contaminantes atmosféricos altamente activos que provocan cambios morfológicos, físicos, químicos y termodinámicos en la carne. que afecta periódicamente a la población, provocando 6,5 millones de muertes en todo el mundo y 4,2 millones de muertes globales cada año; Esta mortalidad se debe a la exposición a partículas de tamaño igual o inferior a 10 micras, que pueden provocar enfermedades cardíacas, respiratorias y cáncer, que todavía se asocia a una alta exposición y similares (4).

Actualmente existen una gran cantidad de contaminantes en la atmósfera, que han tenido un gran impacto sobre el medio ambiente y la

salud humana, en este grupo de contaminantes se encuentran las partículas conocidas como partículas suspendidas, Aero partículas o material particulado, son expresiones usadas para dar nombre una mezcla de compuestos microscópicos o diminutos en forma líquida o sólida, procedentes de fuentes naturales y artificiales. Las partículas se pueden clasificar de distintas formas de acuerdo con múltiples perspectivas (5).

Dentro de este marco, la contaminación atmosférica es la acumulación y condensación de fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso en la atmosfera causantes de factores adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la vitalidad humana (6). Ahora bien, países como Colombia y en todo el mundo han sido determinados como referencia de los problemas de contaminación atmosférica los niveles de emisión e inmisión del Material Particulado (PM10 y PM2.5), del dióxido de azufre (SO₂), del dióxido de nitrógeno (NO₂), del ozono troposférico (O₃) y del monóxido de carbono (CO), también conocidos como contaminantes criterio.

En habidas cuentas, el material particulado está conformado por partículas sólidas, suspendidas y difundidas en el aire, el cual se ha caracterizado en términos de diámetro, ya que presenta tamaño y estructura cambiante; por ello se agrupa en partículas finas y gruesas. Las partículas finas son aquellas que tienen un diámetro menor o igual

a 2,5 μm (PM2.5); y las partículas gruesas, cuyo diámetro oscila alrededor de las 10 μm , (PM10) (7). En todo esto organizaciones han dicho que, el material particulado es considerado uno de los contaminantes atmosféricos más dañinos en el mundo, siendo el sector maderero el causante de grandes alteraciones en el ambiente, al ser una de las actividades humanas que más genera este tipo de materia, ocasionando así el deterioro de la calidad del aire (4).

Resulta claro decir que, las PM10, se pueden definir según Cuellar et al., (8), como partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, difundidas en la atmósfera, y cuyo diámetro oscila entre 2,5 y 10 μm , están compuestas primordialmente por elementos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico relacionado a partículas de carbono (hollín) y se diferencian por tener un pH básico producido por la combustión no controlada de elementos varios (8).

Generalmente, la parte voluminosa de las PM10 se compone en su mayoría de partículas primarias despididas directamente a la atmósfera tanto por fenómenos naturales (conflagraciones forestales o erupciones volcánicas) como por las actividades antrópicas (actividades agrícolas o de construcción, re suspensión en de polvo, procesos industriales, etc.) (9). Entonces, estas partículas pueden ser removidas de la atmósfera

por procesos como la sedimentación y la precipitación, dependiendo del tamaño de estas y de ciertos factores 21 termodinámicos, además, es importante tener en cuenta las siguientes características propias de las partículas que abarcan un tamaño entre 2.5 y 10 micras.

En este punto, el material particulado y la humedad del suelo son dos componentes fundamentales que influyen en la calidad ambiental y en la salud de los ecosistemas. El material particulado, que incluye una variedad de partículas sólidas y líquidas en suspensión en el aire, tiene efectos significativos sobre la salud humana y el medio ambiente. Por otro lado, la humedad del suelo es crucial para el crecimiento de las plantas y la sostenibilidad agrícola. Este ensayo explora las características, fuentes y efectos del material particulado y su relación con la humedad del suelo (10).

De este modo, la mayor parte de los problemas de calidad del aire son actualmente resultado de las actividades industriales y de la polución generada por los medios de transporte, lo que deja ver que la contaminación atmosférica es consecuencia del uso de la energía. Dependiendo de su origen, los contaminantes se clasifican en antropogénicos, generados por la actividad humana, o naturales, que resultan gracias a procesos de la naturaleza, por ejemplo, erupciones volcánicas o polen en suspensión (11).

En todo caso, puede definirse la contaminación atmosférica como la presencia de elementos contaminantes, los cuales alteran su contenido y pueden afectar cualquier elemento del ecosistema. Visto desde la perspectiva antropocéntrica, la polución atmosférica hace referencia a los factores que causan afecciones para la salud humana (12).

Resulta claro que, el material particulado se clasifica según su tamaño en diferentes categorías, siendo las más relevantes PM₁₀ y PM_{2.5}. Las partículas PM₁₀ son aquellas con un diámetro de 10 micrómetros o menos, mientras que las PM_{2.5} tienen un diámetro de 2.5 micrómetros o menos. Estas partículas pueden ser de origen natural, como el polvo levantado por el viento o las cenizas volcánicas, o antropogénico, como las emisiones de vehículos y procesos industriales.

Por consiguiente, las principales fuentes de material particulado incluyen: Fuentes naturales: Erupciones volcánicas, incendios forestales y tormentas de polvo. Fuentes antropogénicas: Emisiones vehiculares, actividades industriales y prácticas agrícolas como la labranza del suelo. La composición química del material particulado varía según su origen; por ejemplo, las partículas provenientes de actividades industriales pueden contener metales pesados, mientras que las partículas agrícolas pueden ser ricas en nutrientes.

En esta perspectiva, el material particulado tiene efectos adversos sobre la salud humana, incluyendo enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Además, afecta a los ecosistemas

al interferir con la fotosíntesis y dañar la vegetación. Las partículas en suspensión también juegan un papel importante en la química atmosférica, actuando como núcleos de condensación que facilitan la formación de nubes y precipitación. Ahora bien, la relevancia de la humedad del suelo para la precipitación convectiva ha sido investigada en muchos estudios.

A pesar de un conocimiento sólido de que una mayor humedad del suelo conduce a un aumento de la humedad específica cerca de la superficie y a una disminución de la temperatura, la retroalimentación humedad-precipitación del suelo es muy compleja y puede variar espacial y temporalmente (13). De todo lo planteado, el objetivo de este estudio es analizar desde la revisión documental el efecto del material particulado y humedad de suelo en Huancayo y Pampas/Perú.

En Huancayo, se están implementando diversas medidas para reducir las concentraciones de material particulado (MP), especialmente PM₁₀ y PM_{2.5}, que representan un desafío significativo para la calidad del aire y la salud pública. En 2014, el Ministerio del Ambiente declaró a Huancayo como una de las 13 ciudades en Perú con problemas críticos de calidad del aire. Esta declaración permite priorizar recursos y esfuerzos para abordar la contaminación atmosférica, enfocándose en la reducción de emisiones de MP provenientes de fuentes como vehículos y actividades agrícolas (14).

Al mismo tiempo, se ha manejado el Plan A Limpiar el Aire, este plan integral tiene como objetivo establecer políticas y medidas necesarias para mejorar la calidad del aire en Huancayo. Incluye estrategias para reducir las emisiones contaminantes, fortalecer la vigilancia de la calidad del aire y promover la conciencia ambiental entre la población. Se busca reducir anualmente un 20% de la contaminación atmosférica proveniente de vías no asfaltadas y aumentar las áreas verdes en un 20% anual.

Dicho de otro modo, se denomina al material particulado como un material de pequeñísimo diámetro que puede existir en estado sólido o líquido en la atmósfera terrestre el cual tiene diversos emisores como polvo, la suciedad, el hollín o el humo (15). Entonces, “estar expuestos por poco tiempo a contaminación atmosférica provoca hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en niños” (p. 166) (16).

Ahora bien, la exposición breve a contaminación atmosférica (PM10 y PM2.5) puede provocar hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en niños. También se ha evidenciado que afecta los mecanismos de reacción en la atmósfera y cambia las condiciones de visibilidad, alterando el paisaje. Además, “a nivel ecológico se ha mostrado que reduce la cantidad de luz que utilizan las plantas por lo que afectarían su producción y/o crecimiento” (17).

En ese contexto debemos de considerar que la localidad de Huancayo que pertenece al Valle del Mantaro presenta altos niveles de contaminación generados por la actividad automotriz, las pollerías, el polvo del suelo de los cerros y áreas verdes sin mantenimiento, así como el complejo metalúrgico de La Oroya. El mencionado complejo metalúrgico, operaba desde la década de 1920 donde se emitían grandes cantidades de material particulado y gases, Un estudio realizado en el mes de noviembre del año 2017 sobre la dispersión de material particulado PM2.5 emitido por pollerías en la ciudad de Huancayo, demuestra que las emisiones han superado los estándares de calidad de aire peruano con $25.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, esta información permite darnos cuenta de lo riesgoso de la situación en la ciudad de Huancayo respecto al PM.

Ante esta situación, muchas empresas están comenzando a adoptar prácticas sostenibles que incluyen la eficiencia energética y el uso de energías renovables. Por ejemplo, la instalación de paneles solares y la mejora de la eficiencia en el consumo energético pueden reducir significativamente su huella de carbono y, por ende, las emisiones de material particulado.

Por otro lado, las empresas están cada vez más alineadas con iniciativas globales como los Objetivos Basados en la Ciencia (SBTi), que les ayudan a establecer metas concretas para reducir sus emisiones. Este compromiso no solo mejora

su imagen ante los consumidores, sino que también contribuye a un entorno más saludable. Entonces, las asociaciones entre empresas y gobiernos locales han demostrado ser efectivas para implementar proyectos que reduzcan las emisiones. Estas colaboraciones pueden incluir desde inversiones en infraestructura hasta programas de capacitación laboral, lo que genera un impacto positivo en la comunidad y el medio ambiente.

También están involucradas en la educación y sensibilización sobre la importancia de reducir las emisiones. Al promover campañas sobre sostenibilidad y prácticas responsables, pueden influir en el comportamiento de sus empleados y clientes, fomentando una cultura ambiental más consciente. Sabiendo que, la inversión en tecnologías limpias y prácticas innovadoras es clave para la reducción de emisiones. Las empresas que desarrollan o implementan nuevas tecnologías para mejorar sus procesos productivos pueden reducir significativamente su impacto ambiental.

Por consiguiente, muchas empresas están comenzando a medir su huella de carbono como parte de sus estrategias para reducir emisiones. Esto les permite identificar áreas donde pueden mejorar y establecer objetivos claros para sus esfuerzos de sostenibilidad y cuando no es posible evitar ciertas emisiones, las empresas pueden optar por compensarlas a través de proyectos como reforestación o energías renovables. Esto

les permite mitigar su impacto ambiental mientras trabajan hacia una reducción más significativa en el futuro.

Para paliar esta situación, las empresas pueden unirse a los gobiernos locales para desarrollar proyectos que aborden la calidad del aire. Estas alianzas pueden incluir inversiones en infraestructura, como la mejora de sistemas de transporte público o la creación de espacios verdes, que ayudan a mitigar la contaminación. Por ejemplo, en Medellín, Colombia, se han transformado zonas marginales mediante colaboraciones que han generado empleo y mejorado el ambiente urbano (14).

A su vez, pueden adoptar prácticas sostenibles que reduzcan sus propias emisiones y, al mismo tiempo, colaborar con los gobiernos locales para promover estas iniciativas en la comunidad. Esto puede incluir la implementación de programas de reciclaje, eficiencia energética y uso de energías renovables. Un ejemplo es el programa de reciclaje implementado por emprendedores en un pueblo español, que logró reducir los residuos en un 40%, y trabajar junto con los gobiernos locales en campañas educativas para concienciar a la población sobre la importancia de reducir las emisiones y adoptar prácticas sostenibles. Esto no solo mejora la imagen de las empresas, sino que también fomenta un cambio cultural hacia la sostenibilidad.

Las empresas pueden involucrarse en la creación y ejecución de planes locales de acción climática que incluyan metas específicas para la reducción de emisiones. Esto puede facilitarse mediante comisiones ambientales donde se integren diferentes actores, incluyendo el sector privado y pueden colaborar con gobiernos locales para invertir en tecnologías limpias y soluciones innovadoras que reduzcan las emisiones. Esto incluye el desarrollo de sistemas de transporte más limpios o tecnologías para el tratamiento de residuos.

Colaborar con los gobiernos locales para mejorar el acceso a datos sobre emisiones puede ayudar a identificar áreas críticas donde se requieren intervenciones. La transparencia en la información ambiental fomenta una mejor toma de decisiones tanto por parte del gobierno como del sector privado y alinearse con las políticas y normativas ambientales establecidas por los gobiernos locales, apoyando su implementación y promoviendo su cumplimiento dentro de sus operaciones y cadenas de suministro. Las empresas pueden colaborar con los gobiernos locales para promover modelos económicos circulares que reduzcan residuos y maximicen el uso eficiente de recursos. Esto no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también puede abrir nuevas oportunidades económicas.

Un caso palpable es la Municipalidad Metropolitana de Lima ha establecido alianzas

con el sector privado para desarrollar proyectos de infraestructura que mejoren la calidad del aire y la movilidad urbana. Esto incluye iniciativas para mejorar el transporte público, como la implementación de corredores viales y sistemas de transporte masivo, lo que ayuda a reducir las emisiones de material particulado provenientes del tráfico vehicular.

En el distrito de Gamarra, Lima, se ha formado un clúster industrial que involucra a múltiples empresas del sector textil. Este esfuerzo ha sido apoyado por el gobierno local para formalizar y fortalecer la red de negocios. La colaboración ha permitido mejorar las condiciones laborales y ambientales en la industria, promoviendo prácticas sostenibles que reducen el impacto ambiental.

En resumen, la colaboración entre empresas locales y gobiernos es esencial para abordar el problema del material particulado y mejorar la calidad del aire. A través de alianzas estratégicas, programas sostenibles y un compromiso conjunto con la educación y la innovación, ambos sectores pueden trabajar juntos para crear un entorno más saludable y sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

El artículo se centra en la investigación cualitativa, donde el estilo de investigación es de carácter descriptivo-hermenéutico, documental y bibliográfico, utilizando todo material escrito relacionado con el tema

de investigación, especialmente artículos científicos, literatura y estándares nacionales y organizados internacionalmente, además de examinar periódicos como parte de la búsqueda de información importante para el desarrollo de la investigación. El análisis de libros y artículos de revistas indexadas como método de investigación requiere un análisis sistemático de muchos artículos que documentan un período determinado, tanto legal como social. La muestra son los documentos alusivos al tema material particulado y humedad de suelo tanto nacional como internacional. El diseño fue documental, es un método eficiente y de bajo costo, pero requiere un proceso riguroso de selección, análisis y síntesis de la información. La técnica para recopilar la información se utilizó las revistas Scielo, Readic, Scopus, así mismo se analizó la Constitución de la República del Ecuador.

RESULTADOS

Este estudio analiza la dispersión de material particulado (PM10 y PM2.5) en Huancayo durante noviembre de 2020. Se determinó que las concentraciones promedio de PM10 fueron de 92.3, 48.5 y 89.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que para PM2.5 fueron de 14.0, 7.0 y 22.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, todos dentro de los estándares de calidad ambiental. Las fuentes de emisión incluyen vehículos y polvo del suelo, lo que tiene implicaciones significativas para la salud respiratoria de la población.

Un estudio teórico experimental sobre la influencia del material particulado (PM2.5) emitido por plantas hidrometalúrgicas en Nasca indica que este material afecta tanto la calidad del aire como la del suelo y el agua en áreas circundantes. Este tipo de investigación es relevante para entender cómo el material particulado puede impactar la humedad del suelo y la salud ambiental en regiones similares a Huancayo y Pampas.

Igualmente, una investigación sobre la relación entre variables meteorológicas (incluyendo humedad) y la dispersión de contaminantes atmosféricos en el distrito de Pacocha, Moquegua, revela que condiciones meteorológicas específicas afectan significativamente las concentraciones de PM10 y PM2.5. Este estudio proporciona un marco para entender cómo factores como la humedad pueden influir en la dispersión del material particulado en Huancayo y Pampas.

Por consiguiente, un documento que describe las características geológicas y edáficas del área muestra que los suelos son predominantemente no conformados, con procesos edáficos influenciados por la humedad, temperatura y vegetación local. Estas condiciones son cruciales para evaluar cómo el material particulado interactúa con el suelo. Estos estudios ofrecen una base sólida para investigar más a fondo los efectos combinados del material particulado y la humedad del suelo en las regiones mencionadas, proporcionando datos cuantitativos y cualitativos necesarios para un análisis exhaustivo.

Así mismo, se determinó mediante la revisión bibliográfica que, la relación entre la humedad del suelo y la concentración de material particulado (MP) en Huancayo y Pampas, Perú, se ha explorado en varios estudios, revelando patrones significativos que pueden influir en la calidad del aire y la salud pública, conociendo que, en Huancayo, se ha observado que las concentraciones de MP10 y MP2.5 son más altas durante los meses secos en comparación con los meses lluviosos. Por ejemplo, las 9 concentraciones promedio de MP10 fueron de 77,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el periodo seco, mientras que en el periodo lluvioso disminuyeron a 50,40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto sugiere que la humedad del suelo puede actuar como un factor mitigador de la dispersión del material particulado.

Debe señalarse también que, las principales fuentes de material particulado en Huancayo incluyen el tráfico vehicular, el polvo del suelo y actividades agrícolas. La composición química del MP sugiere que los elementos geológicos predominan en el MP10, lo que implica que el suelo juega un papel crucial en la generación de partículas y que la humedad del suelo afecta no solo la concentración de partículas en el aire, sino también su transporte y deposición. Durante periodos secos, el polvo se levanta más fácilmente, aumentando las concentraciones de MP en el aire.

Finalmente, se determinó que, la investigación sugiere que hay una relación compleja entre la humedad del suelo y las concentraciones de

material particulado en Huancayo y Pampas. La humedad puede influir en la dispersión y deposición del material particulado, con variaciones significativas entre los periodos secos y húmedos. Estos hallazgos son cruciales para desarrollar estrategias efectivas de gestión ambiental y mejorar la calidad del aire en estas regiones.

DISCUSIÓN

Las concentraciones promedio de PM10 (92.3, 48.5 y 89.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y PM2.5 (14.0, 7.0 y 22.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Huancayo están dentro de los estándares de calidad ambiental, pero se deben considerar las variaciones estacionales y las condiciones meteorológicas que pueden influir en estas cifras. La presencia de PM10 supera los niveles recomendados durante periodos secos, lo que sugiere que la sequedad del ambiente puede aumentar la dispersión de partículas.

Así mismo, las principales fuentes identificadas incluyen el tráfico vehicular y el polvo del suelo, lo que enfatiza la necesidad de implementar medidas para controlar las emisiones vehiculares y gestionar el uso del suelo para mitigar la generación de polvo. Esto es especialmente relevante en áreas urbanas como Huancayo, donde el aumento del parque automotor ha sido significativo (18)

En este mismo orden, la interacción entre el material particulado y la humedad del suelo según un informe realizado se ha manifestado que, es un aspecto crucial para entender su impacto

ambiental. Un ambiente seco puede aumentar la re-suspensión de partículas, mientras que un suelo húmedo puede actuar como un sumidero temporal para el material particulado². Esto tiene implicaciones para la gestión del agua y el suelo, especialmente en áreas agrícolas donde la calidad del aire puede influir en los cultivos (19).

Hay que agregar, la predominancia de suelos no conformados en la región indica que estos han sido influenciados por procesos geológicos recientes. Esto puede afectar la capacidad del suelo para retener humedad y nutrientes, lo que a su vez influye en la vegetación local. La interacción entre estos factores es crucial para entender cómo el material particulado se deposita y se redistribuye en el ambiente.

Y los procesos edáficos, como la meteorización, son altamente dependientes de la humedad y temperatura. Durante los períodos secos, la falta de humedad puede aumentar la erosión del suelo, generando más material particulado que se eleva al aire. Esto resalta la importancia de monitorear las condiciones climáticas para predecir los niveles de MP y su impacto en la salud pública.

Todo lo planteado, quiere decir que, los resultados del estudio sobre material particulado en Huancayo y su comparación con Nasca resaltan una problemática compleja que requiere atención urgente tanto desde el punto de vista ambiental como de salud pública. La implementación

efectiva de políticas puede contribuir a mejorar significativamente la calidad del aire y, por ende, la salud de las comunidades afectadas.

CONCLUSIONES

Se concluye que, las concentraciones promedio de PM₁₀ (92.3, 48.5 y 89.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y PM_{2.5} (14.0, 7.0 y 22.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Huancayo se encuentran dentro de los estándares de calidad ambiental, aunque es importante destacar que las cifras pueden variar significativamente según las condiciones meteorológicas y estacionales. La presencia elevada de PM₁₀ durante períodos secos sugiere que la sequedad del ambiente puede aumentar la dispersión de partículas, lo que podría tener consecuencias negativas para la calidad del aire.

Así mismo, las principales fuentes identificadas de material particulado incluyen el tráfico vehicular y el polvo del suelo, lo que subraya la necesidad urgente de implementar medidas efectivas para controlar las emisiones vehiculares y gestionar adecuadamente el uso del suelo. La creciente urbanización y el aumento del parque automotor en Huancayo agravan este problema, lo que requiere una atención prioritaria por parte de las autoridades ambientales.

Ahora bien, se determinó que, los niveles elevados de material particulado, especialmente PM₁₀, están asociados con problemas respiratorios en la población, lo que resalta la importancia de

monitorear la calidad del aire y adoptar políticas que reduzcan la exposición a estos contaminantes. La identificación de patrones estacionales en las concentraciones de MP proporciona información valiosa para desarrollar alertas y medidas preventivas durante los meses más críticos.

Igualmente, se tiene que, la revisión bibliográfica apoya estos hallazgos al indicar que Huancayo enfrenta un problema significativo con el material particulado, siendo el PM2.5 particularmente preocupante debido a su capacidad para penetrar profundamente en el sistema respiratorio humano. Esto refuerza la necesidad de un enfoque integral que considere tanto las fuentes antrópicas como los factores ambientales que influyen en la calidad del aire.

Siendo crucial que se implementen políticas públicas enfocadas en la reducción de emisiones, así como estrategias para mejorar la infraestructura urbana y promover el uso sostenible del suelo. Además, se sugiere realizar estudios continuos sobre la calidad del aire para evaluar la efectividad de estas medidas y ajustar las políticas según sea necesario.

AGRADECIMIENTO. A la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo y a la Universidad Nacional del Centro del Perú; como al instituto Geofísico del Perú por la data publicada en el portal AERONET de la NASA

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. He M, Chen J, He Y, Li Y, Long Q, Qiao Y, Zhang K. Trends and Source Contribution Characteristics of SO₂, NO_x, PM₁₀ and PM_{2.5} Emissions in Sichuan Province from 2013 to 2017. *Atmosphere*. 2021; 12(2): 189. <https://acortar.link/RkMc76>
2. Han L, Zhou W, Li W, Qian Y. Global population exposed to fine particulate pollution by population increase and pollution expansion. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2017; 10(10): 1221-1226. <https://acortar.link/Ow7dlr>
3. Arregocés H, Rojano R, Restrepo G. Impact of lockdown on particulate matter concentrations in Colombia during the COVID-19 pandemic. *Science of the Total Environment*, 764. 2021. <https://acortar.link/vhIXKc>
4. Organización Mundial de la Salud. 10 amenazas a la salud mundial en 2018. 2019. <https://acortar.link/engIZ9>
5. Sborato D., Sborato V y Ortega J. (2007). Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmósfera. CISA. Centro de Investigación y Formación en Salud Ambiental. Colección Salud Ambiental. Encuentro Grupo Editor. Córdoba, Argentina. 153 p. <https://acortar.link/qZgYW0>
6. Alarcón C., Poveda J. Control de material particulado en espacios cerrados (laboratorio, preclínica y oficinas) a través de la utilización de un filtro portátil. Universidad Antonio Mariño. 2021. <https://acortar.link/QMTV5q>
7. Caicedo L, Méndez F, Gutiérrez E, Flores J. Medición de humedad en suelos: Revisión de métodos y características. *Revista PADI*. 2021; 9(17): 1-8. <https://acortar.link/yvEZDE>
8. Cuellar L, Palomá M, Puentes N, Polania A. Determinación del nivel de contaminación por partículas suspendidas totales de industrias procesadoras de minerales del Municipio de Palermo, Huila, Colombia. *Revista Ingeniería y Región*. 2022; 27(2): 35-47. <https://acortar.link/ApettM>

- 9.** Valbuena D., Díaz Y. Lineamientos de la medición de la calidad del aire en cuanto Material Particulado (PM10) y su implementación en programas de seguimiento y monitoreo. Universidad Francisco José de Caldas. 2019. <https://acortar.link/DcteXN>
- 10.** Ramos R. Relación entre el material particulado (PM10), los parámetros meteorológicos y la concentración de esporas fúngicas en la atmósfera de la plaza San Martín de Lima. *Ecología Aplicada*. 2023;22(1): 35-41. <https://acortar.link/SWs0wp>
- 11.** Gupta A, Moniruzzaman M, Hande A, Roustal, Olafsson H y Mondal K. Estimation of particulate matter (PM2.5, PM10) concentration and its variation over urban sites in Bangladesh. *SN Applied Sciences*. 2020; 2(12). <https://acortar.link/h0rQES>
- 12.** Strauss W., Mainwaring S. Contaminación del aire: causas, efectos y soluciones. Editorial Trillas, México, DF. 2011. <https://acortar.link/AA5LIX>
- 13.** Pan B, Chen G, Hawver D. Attenuation of cyclic AMP production by carbamazepine. *Publmed*. 1996;67(5): 79-86. <https://acortar.link/b1BJCM>
- 14.** Barrantes M. Dispersión de material particulado (PM10 y PM2.5) en Huancayo Metropolitano, Región Junín, 2020. Universidad Cesar Vallejo. 2021. <https://acortar.link/p5QIEs>
- 15.** Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM. Primera edición. ISBN: 978-607-8246-52-6. 2011. <https://acortar.link/gWAB6v>
- 16.** Matus P, Oyarzun M. Impacto del Material Particulado aéreo (MP 2,5) sobre las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en niños: estudio caso-control alterno. *Rev. Chil. Pediatr*. 2019; 90(2):166-174. <https://acortar.link/mWjl1w>
- 17.** Chen J. La influencia de la luz en el crecimiento del cultivo. PROMIX. EE.UU. 2020. <https://acortar.link/AEIkZ>
- 18.** Suárez L, Álvarez D, Bendezú Y. Caracterización química del material particulado atmosférico del centro urbano de Huancayo, Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 2017; 83(2): 1-12. <https://acortar.link/RLXcFG>
- 19.** INSIDE. Modificación del estudio de impacto ambiental detallado de la Central Eólica Wayra I para el proyecto Wayra extensión: Informe Final Capítulo III – Identificación del área de influencia. 2019. <https://acortar.link/ucKZhE>