

Artículo original

Modelado geoestadístico del polvo atmosférico sedimentable en una comunidad campesina altoandina de Tacna, Perú

Geostatistical Modeling of Settleable Atmospheric Dust in a High-Andean Rural Community in Tacna, Peru

ALEJANDRO DANIEL VALDIVIA OLIVERA¹

 <https://orcid.org/0000-0002-5803-5500>

MARIAFERNANDA CORONADO FERNÁNDEZ²

 <https://orcid.org/0000-0002-1420-4261>

Recibido: 14/11/2023

Aceptado: 05/12/2023

Publicado: 28/12/2023

¹Operaciones/Monitoreo Ambientales, ALS LS PERÚ, Compañía Minera Antapaccay, Espinar, Cusco, Perú

²SSOMA, Mota-Engil Perú, Minera las Bambas, Abancay, Perú

E-mail: ¹avaldiviaolivera@gmail.com, ²mfcoronadofernandez@gmail.com



Resumen

En regiones donde las actividades humanas generan partículas finas en el aire, el polvo atmosférico sedimentable (PAS) emerge como un desafío significativo para la salud humana. Estas partículas, susceptibles de ser inhaladas y transportadas a través del sistema respiratorio, pueden dar lugar a problemas respiratorios y otros impactos a corto y largo plazo. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue evaluar las concentraciones de PAS en una comunidad campesina de la zona altoandina de Tacna, así como realizar un modelado geoestadístico mediante el método de interpolación inversa, utilizando el software ArcGIS. Se establecieron 16 puntos de muestreo y se evaluaron durante los meses de agosto a noviembre de 2022. Los valores máximos permisibles se compararon con los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud. Los resultados indicaron que en todos los puntos de muestreo, ya sea en los bofedales, queñuales o en los alrededores de las viviendas, las concentraciones de PAS superaron los parámetros máximos, constituyendo un riesgo para la salud comunitaria. Además, se observó una relación directa entre la temperatura y las concentraciones de PAS, subrayando la importancia de abordar los riesgos para la salud y las implicaciones medioambientales. Aunque la atribución de la contaminación a una única fuente resulta imposible.

Palabras clave: calidad de aire; polvo atmosférico sedimentable; riesgos para la salud.

Abstract

In regions where human activities generate fine particles in the air, settleable atmospheric dust (SAD) emerges as a significant challenge to human health. These particles, capable of being inhaled and transported through the respiratory system, can lead to short and long-term respiratory problems and other impacts. Therefore, the aim of the study was to assess SAD concentrations in a rural community in the high Andean region of Tacna, as well as to conduct geostatistical modeling using the inverse interpolation method, utilizing ArcGIS software. Sixteen sampling points were established and evaluated during the months of August to November 2022. Permissible maximum values were compared with standards set by the World Health Organization. The results indicated that at all sampling points, whether in wetlands, queñuales, or around dwellings, SAD concentrations exceeded the maximum parameters, posing a risk to community health. Additionally, a direct relationship between temperature and SAD concentrations was observed, emphasizing the importance of addressing health risks and environmental implications. However, attributing pollution to a single source proves challenging.

Keywords: air quality; settleable atmospheric dust; health risks.

1. Introducción

La contaminación atmosférica, resultado principalmente de actividades humanas como la industria, el tráfico vehicular y la minería, implica la presencia de sustancias perjudiciales en la atmósfera (Logothetis et al., 2023; Marinello et al., 2020; Phillips, 2016). Estas emisiones originan partículas contaminantes en el aire, generando desafíos considerables para la calidad del aire y la salud pública (Manisalidis et al., 2020). El polvo atmosférico sedimentable (PAS) comprende partículas suspendidas en el aire que, con el tiempo, se depositan en el suelo o en superficies circundantes (Castro, 2019; Rodriguez, 2022). Esta mezcla diversa de componentes, que incluye polvo mineral, compuestos químicos, metales pesados, compuestos orgánicos volátiles, sustancias tóxicas y otros contaminantes, es transportada por el aire desde diversas fuentes, con posibles consecuencias negativas para la salud humana (Morakinyo et al., 2016). El PAS, al ser inhalado o entrar en contacto con la piel, podría desencadenar diversos problemas de salud. Además, estas partículas finas inhalables presentes en el polvo sedimentable tienen la capacidad de penetrar en el sistema respiratorio, alcanzando los pulmones y provocando problemas respiratorios como asma, bronquitis crónica e incluso aumentando el riesgo de enfermedades respiratorias más graves (Habybabady et al., 2018; Kyung & Jeong, 2020; Soriano, 2012).

Por otro lado, las actividades mineras, especialmente aquellas que involucran el uso de explosivos para fragmentar rocas o suelos con el objetivo de acceder a depósitos minerales, pueden tener consecuencias ambientales significativas que afectan la calidad del aire en las comunidades circundantes (Ayala et al., 2019). Una vez generadas, estas partículas se elevan en el aire y pueden ser transportadas a distancias variables por los vientos locales. Con la expansión de las operaciones mineras, surgen preocupaciones acerca de sus posibles efectos adversos, tanto en la salud humana como en los ecosistemas (Castilla, 2014; Blanco & Paricagua, 2020).

En el contexto de la contaminación atmosférica en áreas cercanas a minas de voladura, el modelado geoestadístico es empleado para mapear la concentración de partículas en el aire, identificar patrones espaciales y evaluar el riesgo para la salud contrarrestando con parámetros establecidos por normativas. Este método es ampliamente utilizado en diversas disciplinas, como la geología, la climatología, la ecología, la agricultura, la minería y muchas otras áreas donde la ubicación geográfica de los datos es fundamental para comprender y predecir fenómenos. El enfoque implica el análisis espacial de datos para comprender la distribución y variabilidad de fenómenos geográficos (Sajjadi et al., 2017).

La contaminación, proveniente de diversas fuentes tanto móviles como fijas, subraya la necesidad de examinar su distribución espacial. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue realizar un modelado geoestadístico de la concentración de polvo atmosférico sedimentable en una comunidad campesina del distrito de Ilabaya, provincia de Tacna. Dado que, además de la agricultura, la minería es una de las actividades económicas más relevantes en este distrito, que se destaca como el principal centro de explotación de cobre. Es probable que las comunidades cercanas a la mina estén expuestas a niveles elevados de partículas en suspensión y otros contaminantes generados durante estas actividades. Los residentes de estas comunidades podrían enfrentar riesgos directos para la salud debido a la inhalación de partículas y la posible contaminación del suelo y el agua. Asimismo, esta investigación se alinea con el objetivo de una extracción de recursos sostenible, enfatizando la importancia de

equilibrar las actividades económicas con la gestión ambiental y consideraciones de salud pública.

2. Metodología

El estudio se llevó a cabo en la comunidad campesina Santa Cruz, ubicada en el distrito de Ilabaya, región de Tacna. Los puntos de muestreo fueron determinados mediante la metodología pasiva de Bergerhoff. Este método se fundamenta en la captación de material atmosférico, lograda al exponer el recipiente colector durante un período predefinido. Durante este lapso, se acumulan partículas depositadas tanto por vía seca como húmeda, generalmente a lo largo de un mes (Ibazeta, 2019).

Al obtener información de los residentes de la comunidad, considerando los distintos niveles de exposición y las posibles consecuencias ecológicas, se establecieron 16 puntos estratégicamente ubicados en viviendas (9 colectores a 1,5 metros del suelo), queñuales (4 colectores) y bofedales (3 colectores), durante los meses de agosto a noviembre del 2022, con una muestra integrada de un mes.

Para la instalación de las estaciones en las áreas de muestreo, se siguió el Protocolo Nacional de Monitoreo Nacional de Aire (MINAM, 2019). Además, se tuvieron en cuenta los límites comparativos establecidos por la guía de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2021).

La Figura 1, muestra el diagrama de la secuencia de las actividades realizadas, donde los frascos colectores se dispusieron durante un período de 30 días. Al culminar este tiempo, fueron recolectados y cuidadosamente cubiertos con papel Kraft para garantizar la protección de la muestra. Posteriormente, se instalaron placas nuevas, siguiendo el mismo procedimiento que los colectores de placa del primer mes, repitiendo el ciclo hasta completar 4 meses.

Figura 1

Diagrama de flujo para determinar las concentraciones de PAS



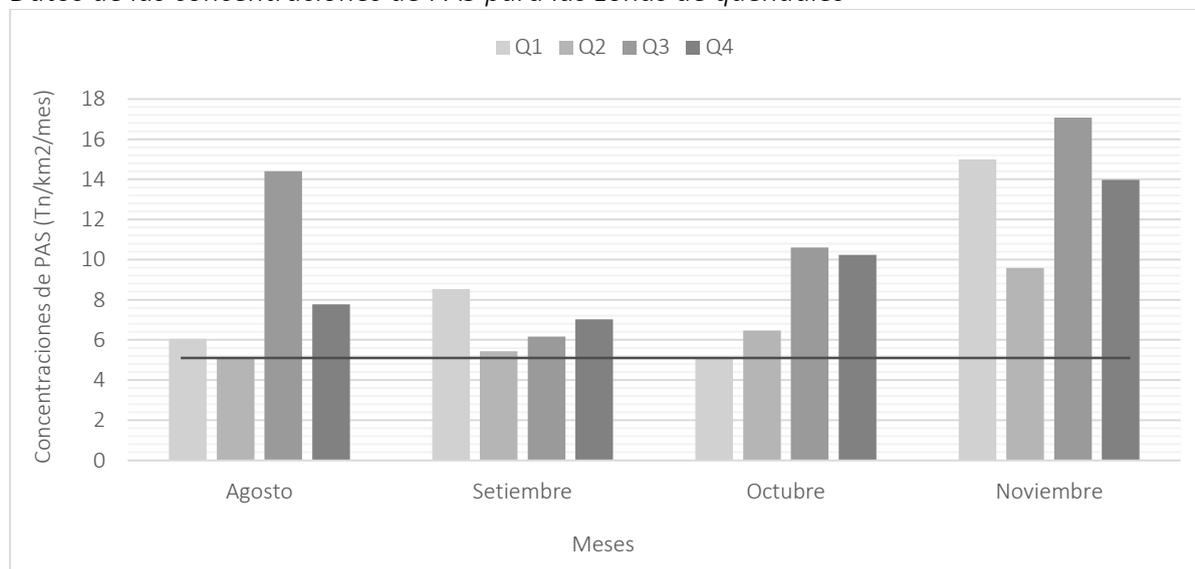
El modelo geoestadístico se desarrolló utilizando el método de Interpolación de Distancia Inversa (IDW), que implica un procedimiento de interpolación lineal basado en la proximidad a las concentraciones reales de los indicadores. Los mapas correspondientes fueron creados mediante el software ArcGIS con el propósito de determinar las concentraciones de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) durante los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre.

3. Resultados

Las condiciones meteorológicas se representaron gráficamente con base en la información obtenida del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. En este análisis se evaluaron rosas de vientos, temperaturas máximas y mínimas, precipitación y humedad relativa para los cuatro meses. Estos datos fueron fundamentales para la elaboración de los mapas geoestadísticos. En relación con los valores recabados en las zonas de queñuales, la Figura 2 muestra que todas las mediciones de la concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) superan el parámetro establecido por la OMS, el cual indica que debería ser igual o menor a 5 Tn/km²/mes. Aquellos valores que se aproximaron a los límites fueron Q1, con una concentración de 5,1 Tn/km²/mes durante octubre; Q2, con concentraciones de 5,13 Tn/km²/mes en agosto y 5,44 Tn/km²/mes en septiembre. Por otro lado, los valores máximos registrados fueron de 17,08 Tn/km²/mes para Q3 y 13,98 Tn/km²/mes para Q4, ambos casos correspondientes al mes de noviembre.

Figura 2

Datos de las concentraciones de PAS para las zonas de queñuales



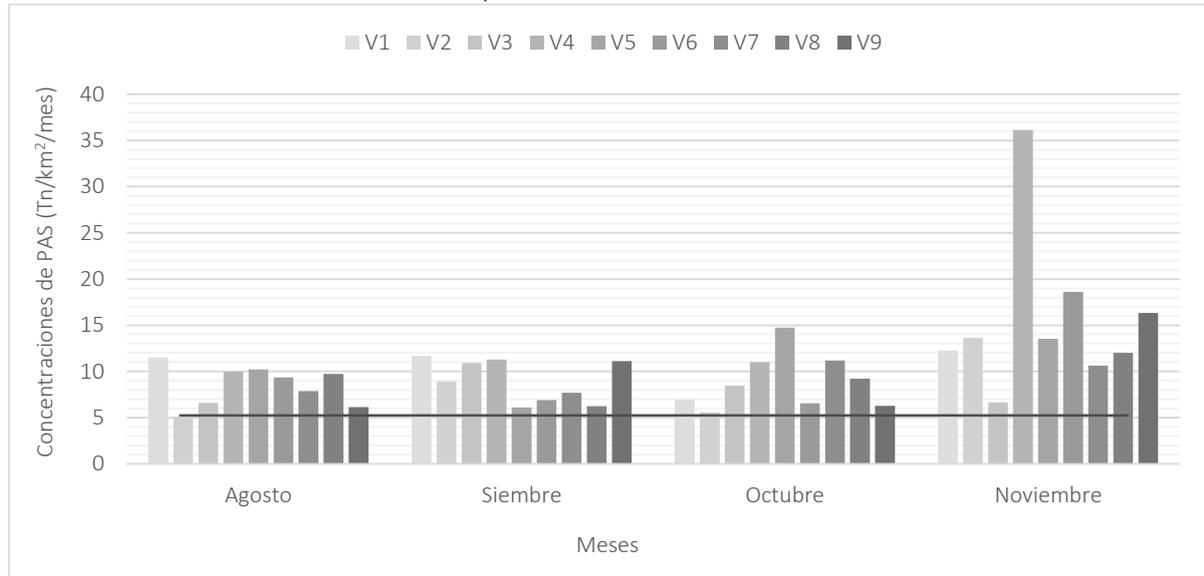
Nota. Los puntos codificados con la letra Q se refieren a los colectores situados en zona de queñuales.

De manera similar a los valores anteriores, la Figura 3 visualiza las mediciones obtenidas en las zonas de muestreo cercanas a las viviendas, donde las concentraciones de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) superan en su totalidad el parámetro establecido por la OMS, que indica que debe ser igual o menor a 5 Tn/km²/mes. Los puntos de muestreo V2 se acercaron a los límites durante los meses de agosto y octubre, con concentraciones de 5,06 y 5,57 Tn/km²/mes respectivamente. En contraste, los valores máximos se registraron de manera

más pronunciada en noviembre, particularmente en los puntos de muestreo V6 y V9, con concentraciones simultáneas de 18,60 y 16,32 Tn/km²/mes. Sin embargo, el punto de muestreo V4 presentó un valor notablemente distante del resto, con una concentración de 36,13 Tn/km²/mes de PAS.

Figura 3

Datos de las concentraciones de PAS para las zonas de viviendas

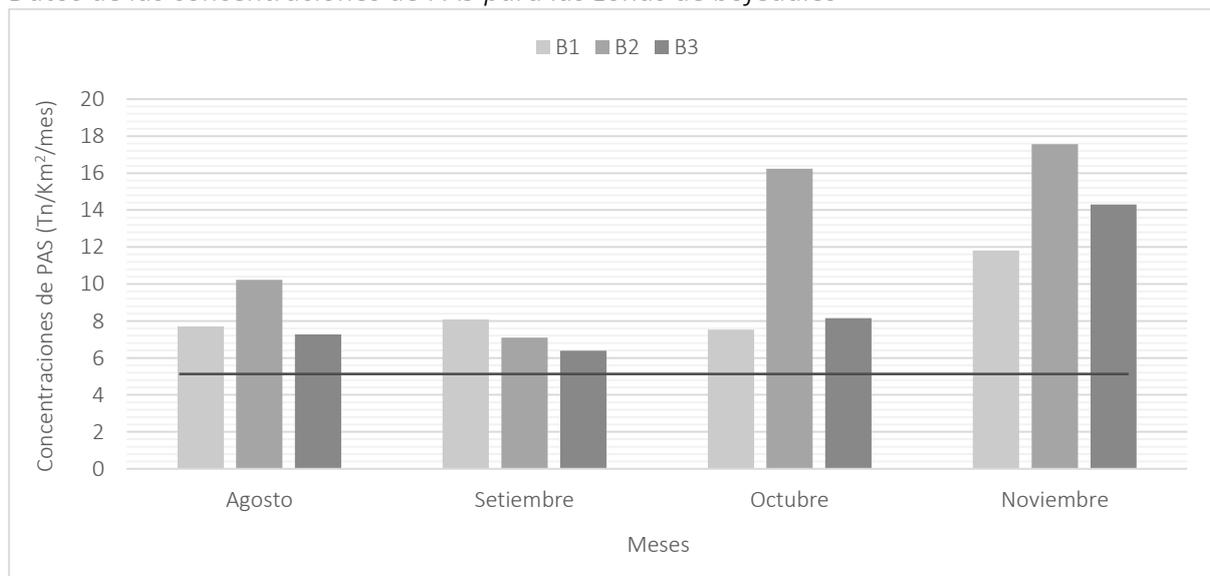


Nota. Los puntos codificados con la letra V se refieren a los colectores situados en zona de viviendas.

En esa misma dirección, la Figura 4 presenta los datos obtenidos de las zonas de muestreo de los bofedales, donde las concentraciones de PAS, estuvieron por encima del parámetro establecido por la OMS, donde indica que debe ser igual o menor a 5 Tn/km²/mes.

Figura 4

Datos de las concentraciones de PAS para las zonas de bofedales



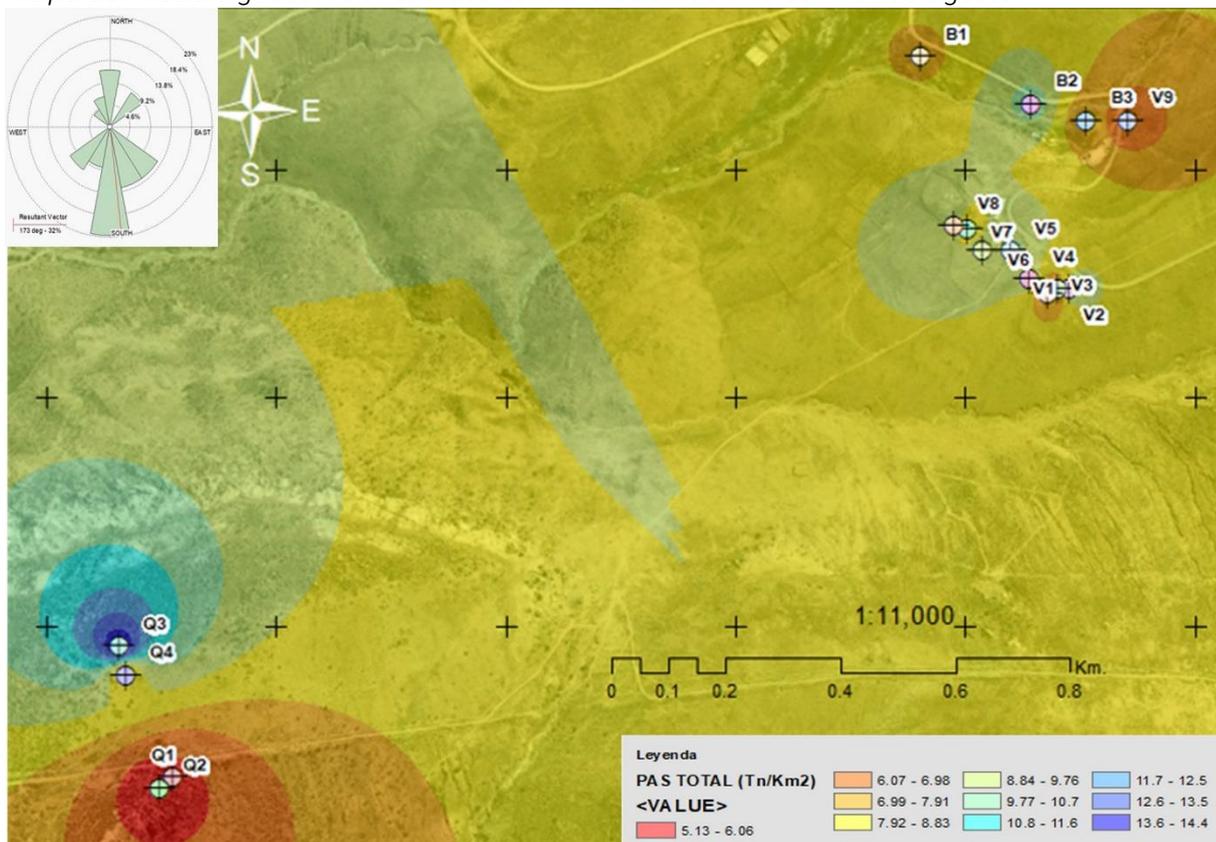
Nota. Los puntos codificados con la letra B se refieren a los colectores situados en zona de bofedales.

Los puntos de muestreo B1 y B2 se acercaron a los límites durante los meses de agosto y septiembre, con concentraciones de 7,70 y 7,10 Tn/km²/mes respectivamente. Mientras que, los valores máximos en mayor proporción se encontraron para los puntos de muestreo B2 y B3, alcanzando concentraciones de 16,24, 17,56 y 14,31 Tn/km²/mes respectivamente.

En cuanto al modelo geostatístico de las concentraciones de PAS en los distintos puntos de muestreo, la Figura 5 muestra el mapa referente al mes de agosto. Donde se observa variaciones en el porcentaje de las concentraciones de PAS. No obstante, la concentración promedio de PAS fueron de 6,05, 7,70 y 9,34 Tn/km²/mes para los puntos de muestreo Q1, B1 y V6 respectivamente. Además, la información meteorológica resalta que la dirección principal del viento es de sur a norte, coincidiendo con la ubicación de los queñoales y la concentración más elevada de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS). No obstante, se evidencia una línea de menor medida que va de suroeste a noreste, donde se sitúan las restantes estaciones de muestreo pasivo con concentraciones más bajas de PAS.

Figura 5

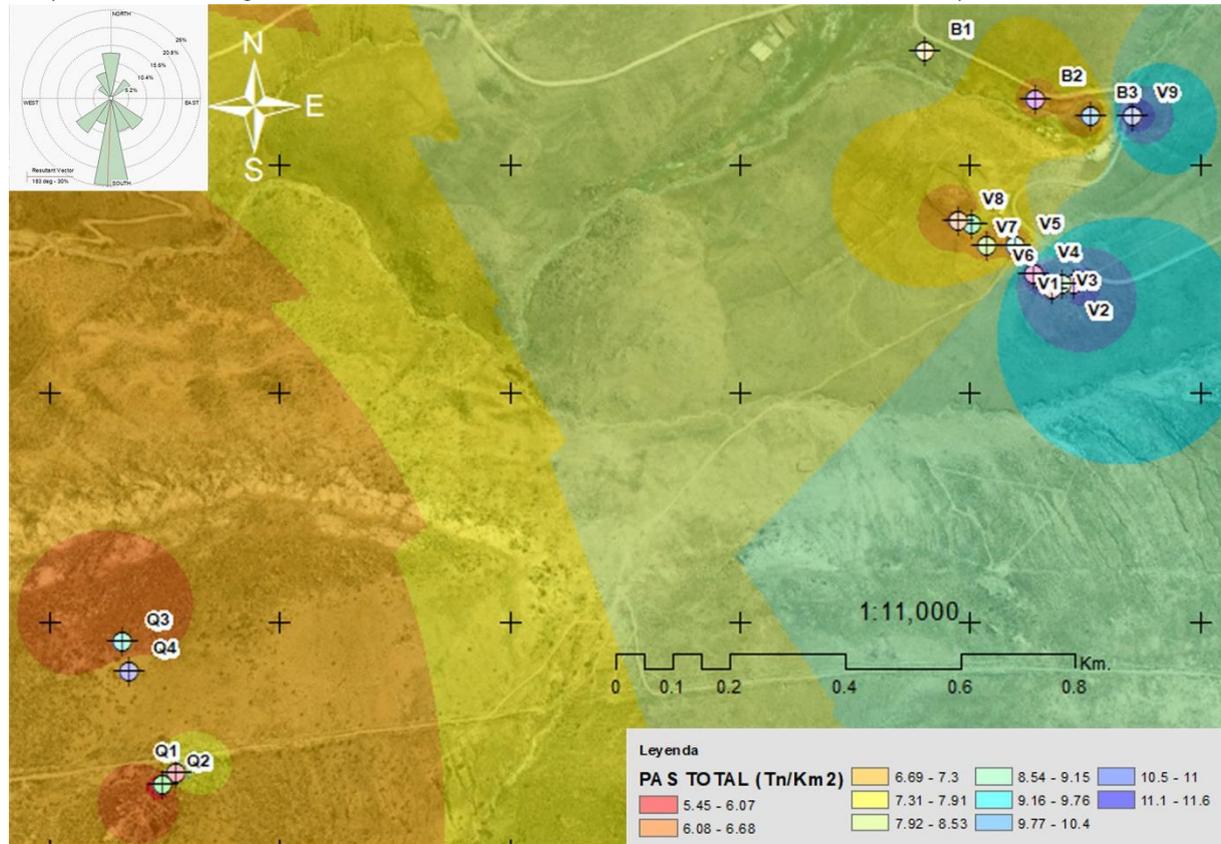
Mapa del modelo geostatístico de la concentración de PAS del mes de agosto



Por otro lado, la Figura 6 muestra el mapa referente al mes de setiembre. Donde se observa variaciones en el porcentaje de las concentraciones de PAS similares al mes de agosto. No obstante, la concentración promedio de PAS fueron de 7,10, 8,54 y 10,91 Tn/km²/mes para los puntos de muestreo B2, Q1 y V3 correspondientemente. Adicionalmente, la información meteorológica resalta que la dirección predominante del viento es de sur a norte. A pesar de esto, se observa que las áreas con concentraciones más elevadas de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) están localizadas en viviendas y bofedales, donde una pequeña línea en la rosa de vientos indica un flujo de suroeste a noreste.

Figura 6

Mapa del modelo geoestadístico de la concentración de PAS del mes de septiembre



De igual manera, la Figura 7 visualiza el mapa referente al mes de octubre. Donde se observa variaciones en el porcentaje de las concentraciones de PAS similares al mes de agosto. No obstante, la concentración promedio de PAS fueron de 8,15, 9,21 y 10,23 Tn/km²/mes para los puntos de muestreo B3, V8 y Q4 simultáneamente. Además, los datos meteorológicos exhibieron patrones prácticamente idénticos a los observados en septiembre, resaltando la dirección predominante del viento de sur a norte. No obstante, se observa que las áreas con mayores concentraciones de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) se localizan en bofedales, con una pequeña línea en la rosa de vientos indicando un flujo de suroeste a noreste. También, la Figura 8 representa el mapa referente al mes de noviembre. Donde se observa variaciones en el porcentaje de las concentraciones de PAS. Sin embargo, la concentración promedio de PAS fueron de 12,00, 13,98 y 14,31 Tn/km²/mes para los puntos de muestreo V8, Q4 y B3 respectivamente. Además, los datos meteorológicos mostraron comportamientos prácticamente análogos a los observados en septiembre y octubre, resaltando la dirección predominante del viento de sur a norte. No obstante, se observa que las áreas con concentraciones más altas de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) se sitúan en viviendas y bofedales, con una pequeña línea en la rosa de vientos indicando un flujo de suroeste a noreste.

Durante los cuatro meses de investigación, se han observado cambios en las concentraciones de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) en diferentes puntos de monitoreo. Estas variaciones se deben a factores como la dirección y velocidad del viento, la precipitación, las actividades de los residentes en la comunidad campesina y las operaciones industriales, incluyendo las voladuras relacionadas con la minería.

Figura 7

Mapa del modelo geoestadístico de la concentración de PAS del mes de octubre

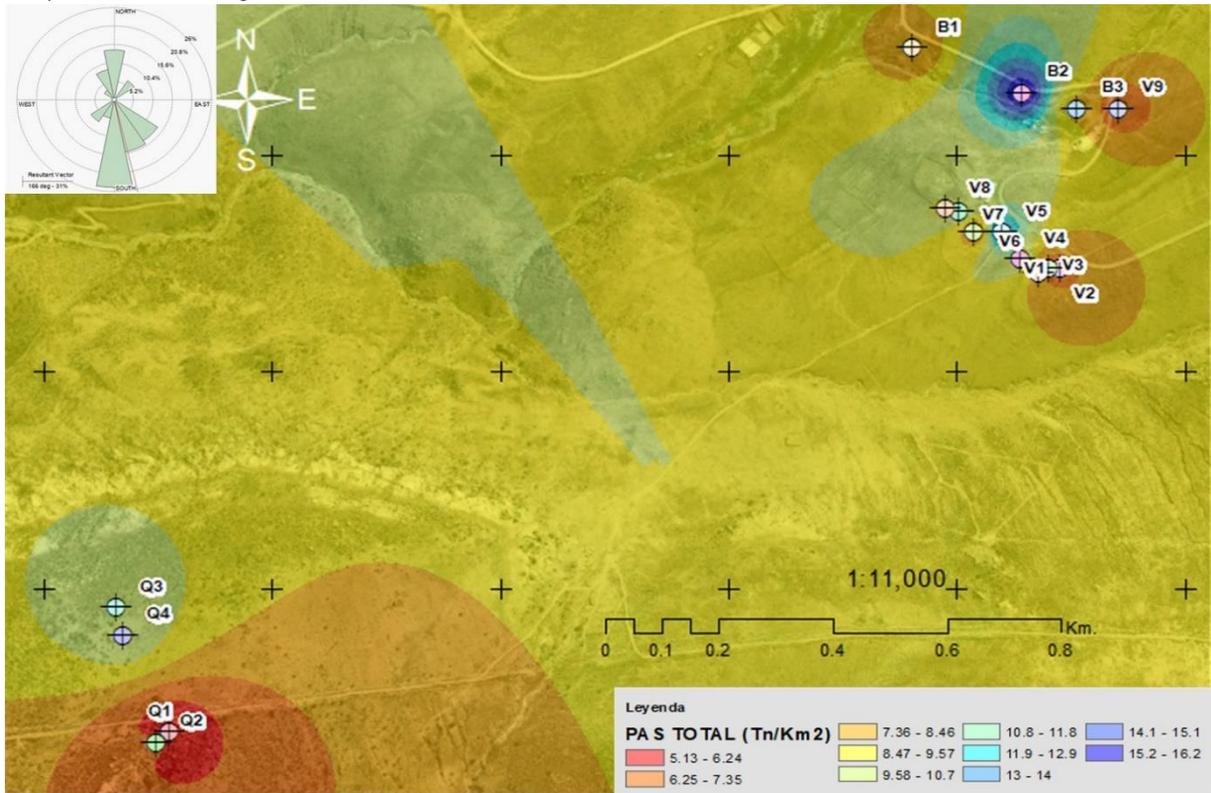
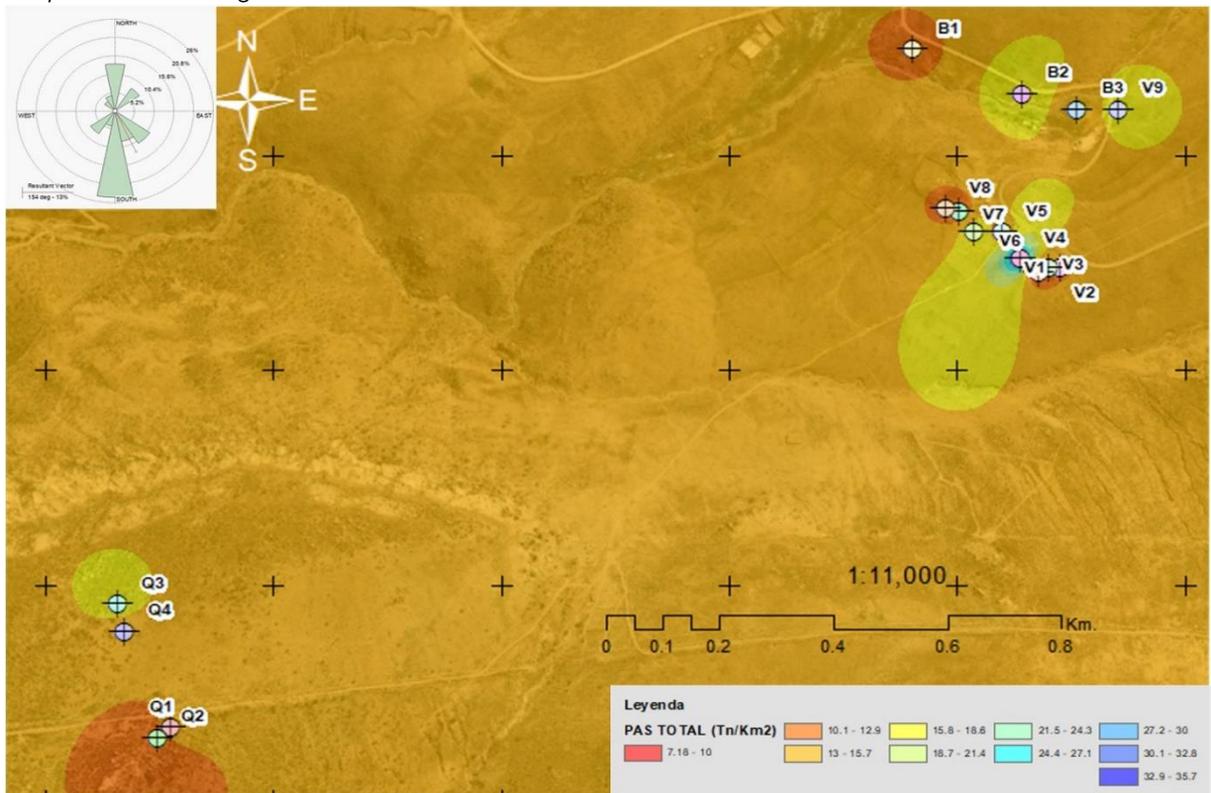


Figura 8

Mapa del modelo geoestadístico de la concentración de PAS del mes de noviembre



4. Discusión

Con el objetivo de representar de manera más efectiva la variación de concentración de polvo atmosférico sedimentable de menor a mayor en tres zonas de estudio de difícil acceso situadas en la apartada comunidad campesina de Santa Cruz – Ilabaya, Tacna, se utilizó el método de interpolación geoestadística conocido como IDW. Se establecieron 16 puntos de monitoreo y, gracias a los datos recolectados en el campo, se elaboraron mapas en ArcGIS utilizando los métodos de interpolación geoestadística propuestos. El modelo IDW demostró tener la mejor respuesta. En consonancia, Ramírez-Cando et al. (2018) examinaron los métodos geoestadísticos Spline, Kriging y el de Peso de Distancia Inversa – IDW para determinar cuál de estas metodologías ofrece una representación más eficiente de las concentraciones de polvo atmosférico sedimentable (PAS). Implementaron un colector casero como método de monitoreo, con filtros de fibra de cuarzo para retener el PAS mayor a 10 micras.

Respecto a los valores límites de las concentraciones de PAS, Carrasco & Rojas (2022) también encontraron que todos los puntos de monitorio sobrepasaron los límites máximos permisibles, recomendados por la OMS, Aunque a diferencia, desarrollaron la investigación en una zona urbana, durante tres meses de monitoreo. Esto debido al tráfico vehicular. Otros estudios, de Castillo (2017), mostraron un 75 % que también sobrepasaron los límites. Así mismo, Méndez & Morán (2020), mostraron que 28 de los 30 puntos evaluados sobrepasaron parámetro máximo, aunque este estudio se realizó en una zona industrial. Por otra parte, Najafpour et al. (2020), destaca que un factor muy importante a considerar es el efecto de los parámetros meteorológicos, como fue la velocidad del viento. Estos contrastes evidencian que las poblaciones tanto rurales como urbanas se ven afectadas por la contaminación atmosférica.

5. Conclusiones

Los valores promedio mensuales de las concentraciones de polvo atmosférico sedimentable (PAS) excedieron los límites establecidos por la OMS en los distintos puntos de muestreo, que incluyen queñuales, viviendas y bofedales. Destaca especialmente el mes de noviembre, donde se registran las concentraciones más elevadas, alcanzando valores de 13,91 Tn/km²/mes, 15,53 Tn/km²/mes y 14,57 Tn/km²/mes, respectivamente. Los parámetros meteorológicos, como la temperatura y velocidad del viento, influyeron directamente en los resultados. Además, se puede inferir que la relación inversamente proporcional entre la humedad relativa y la precipitación, así como la relación directamente proporcional con la temperatura, fueron evidentes. La distribución espacial del polvo se vio afectada por la dirección y velocidad del viento, resaltando que la zona de queñuales fue identificada como la de concentración más baja.

La atribución de la contaminación a una única fuente resulta imposible, dado que la comunidad campesina de Santa Cruz alberga diversas actividades humanas, entre las que se incluyen la agricultura, ganadería, tráfico vehicular, actividad minera y proyectos de infraestructura. El análisis reveló un aumento en las concentraciones de PAS, especialmente durante el mes de noviembre.

Por último, el método de Interpolación de Distancia Inversa (IDW) indicó que la concentración se desplaza hacia el noreste en las áreas de estudio. Estos resultados no solo proporcionan una comprensión pertinente de la contaminación atmosférica en la región, sino

que también respaldan la importancia de implementar medidas preventivas para reducir los riesgos para la salud y promover una gestión ambiental sostenible. En última instancia, buscar mejorar el bienestar general de las comunidades ubicadas cerca de minas con actividades de voladura.

6. Referencias Bibliográficas

- Ayala, H. J., Diaz, L. C., Gómez -Fernández, S., Gonzáles, H., Ipaz, S. N., Marcías, L. F., Madriñán, L. F., Montoya, C. E., Peña, J. I., Pinto, E., Saldarriaga, C. A., Valencia, A. J., Valladares, R. Y., & Vasquez O. Y. (2019). *Identificación y análisis de impacto de la actividad minera y la explotación ilícita en los ecosistemas del territorio nacional*. <https://goo.su/kPzyhYt>
- Blanco, E. E., & Paricahua, H. F. (2020). *Identificación y Valoración de Impactos Ambientales Generados por las Actividades de la Minería Informal, en el Cerro Luicho del Distrito de Colta, Provincia de Paucar del Sara Sara, Ayacucho*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3017>
- Carrasco, M. G., & Rojas, A. L. (2022). *Concentración del polvo atmosférico sedimentable y su efecto en la salud de los moradores de la Av. Augusto B. Leguía – Chiclayo*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/99528>
- Castilla, J. (2014). *Desarrollo de una metodología para la determinación del impacto ambiental de operaciones extractivas de recursos minerales por medio de modelos comparativos y el establecimiento de criterios dinámicos como herramientas de análisis y evaluación*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/54772/>
- Castillo, G. M. (2017). *Partículas sedimentables del aire y su influencia en las infecciones respiratorias agudas en la ciudad de Tayabamba*. [Informe de Grado, Universidad Nacional Agraria De La Selva]. <https://goo.su/ybsXJL>
- Castro, M. P. (2019). *Evaluación de la contaminación del aire ocasionado por el polvo atmosférico sedimentable mediante el método de placas receptoras en el área urbana del Centro Poblado de Paragsha - Región Pasco, Agosto-Noviembre 2017*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1989>
- Habybabady, R. H., Nasibi Sis, H., Paridokht, F., Ramrudinasab, F., Behmadi, A., Khosravi, B., Mohammadi, M. (2018). Effects of dust exposure on the respiratory health symptoms and pulmonary functions of street sweepers. *The Malaysian journal of medical sciences: MJMS*, 25(6), 76–84. <https://doi.org/10.21315/mjms2018.25.6.8>
- Ibazeta, C. A. (2019). *Comparación de los métodos Bergerhoff y Placas Receptoras para la determinación de polvo atmosférico sedimentable en el distrito de Miraflores, febrero 2016-febrero 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur]. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/843>
- Kyung, S. Y., & Jeong, S. H. (2020). Particulate-matter related respiratory diseases. *Tuberculosis and Respiratory Diseases*, 83(2), 116. <https://doi.org/10.4046/trd.2019.0025>
- Logothetis, I., Antonopoulou, C., Zisopoulos, G., Mitsotakis, A., & Grammelis, P. (2023). A case study of air quality and a health index over a port, an urban and a high-traffic location

- in Rhodes city. *Air*, 1(2), 139–158. <https://doi.org/10.3390/air1020011>
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: A review. *Frontiers in public health*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Marinello, S., Lolli, F., & Gamberini, R. (2020). Roadway tunnels: A critical review of air pollutant concentrations and vehicular emissions. *Transportation Research. Part D, Transport and Environment*, 86(102478), 102478. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102478>
- Méndez, A. A., Morán V. J. A. (2020). *Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable en el área de influencia directa de la zona industrial del mercado de Tacna 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1720>
- MINAM, Ministerio del Ambiente (2019). *Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire*. <https://goo.su/B60ISzM>
- Morakinyo, O., Mokgobu, M., Mukhola, M., & Hunter, R. (2016). Health outcomes of exposure to biological and chemical components of inhalable and respirable particulate matter. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(6), 592. <https://doi.org/10.3390/ijerph13060592>
- Najafpour, N., Afshin, H., & Firoozabadi, B. (2020). Dust concentration over a semi-arid region: Parametric study and establishment of new empirical models. *Atmospheric Research*, 243(104995), 104995. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104995>
- Phillips, J. (2016). Climate change and surface mining: A review of environment-human interactions & their spatial dynamics. *Applied Geography (Sevenoaks, England)*, 74, 95–108. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.07.001>
- Ramírez-Cando, L. J., Armijos, M., Crespo, M., Pino-Casignia, S. P., & Álvarez-Mendoza, C. I. (2018). Modelamiento geoestadístico de mediciones de concentración de material particulado (PM10) para la validación de un método simplificado. *Anales científicos*, 79(1), 81. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i1.1143>
- Rodriguez, L. Y. (2022). *Capacidad de retención de partículas sedimentables en la especie *codiaeum sp* y *terminalia catappa*, en cuatro parques de la ciudad de San Ramón, provincia de Chanchamayo, 2020*. [Tesis de Pregrado, Universidad Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/2287>
- Sajjadi, S. A., Zolfaghari, G., Adab, H., Allahabadi, A., & Delsouz, M. (2017). Measurement and modeling of particulate matter concentrations: Applying spatial analysis and regression techniques to assess air quality. *MethodsX*, 4, 372–390. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2017.09.006>
- Soriano, M. D. (2012). *Contaminantes Atmosféricos Particulados: Evaluación de las fuentes de origen y de su contribución a la contaminación atmosférica en el clúster cerámico de Castellón*. [Tesis Doctoral, Universitat Jaume I]. <https://www.tdx.cat/handle/10803/96525?locale-attribute=es>
- WHO World Health Organization (2021). *WHO global air quality guidelines*. <https://goo.su/h7VASpZ>