



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico
201 - 211



ARTÍCULO
Científico

MODELAMIENTO GEOESTADÍSTICO DE LA DISPERSIÓN DE POLVO ATMOSFÉRICO SEDIMENTABLE EN PUNTOS DE INFLUENCIA DENTRO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO EN LA CIUDAD DE TACNA, PERÚ

GEOSTATISTICAL MODELING OF SETTLING ATMOSPHERIC DUST DISPERSION AT INFLUENCE POINTS WITHIN THE UNIVERSITY CAMPUS IN TACNA, PERU

Kevin Anthony Chambilla Tello¹

kchambillatel@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0005-3196-5125

Nelida Yuhmida Apaza Mamani⁴

nyapazam@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0009-0988-175X

Jorge Luis Mollinedo Cosi²

jlmollinedocos@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0002-0420-9357

Alex Caceres Calisaya⁵

acacerescal@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0002-3724-3818

Bryan Raul Ccosi Carita³

brccosicar@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0006-0635-5875

1, 2, 3, 4, 5 Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Aceptación: 5 de Diciembre del 2024

Publicación: 18 de Diciembre del 2024

RESUMEN

El polvo atmosférico sedimentable (PAS) es un factor de contaminación en la ciudad de Tacna, Perú, zona de protección especial y de carácter importante para los estudiantes y sus investigaciones. El objetivo de la investigación es modelar de forma geoestadística la dispersión del PAS en puntos de influencia dentro del campus universitario "Jorge Basadre Grohmann - UNJBG" en la Región de Tacna. Para ello se realizó un procedimiento, donde se buscó determinar la concentración en peso del material sedimentable, mediante un monitoreo de partículas desarrolladas. Luego, utilizando la guía metodológica revisada en los antecedentes de investigación, se determinó la zona de muestreo al campus universitario de la UNJBG. Los datos obtenidos del monitoreo detallado fueron: la mayor concentración de PAS, 11.3856 mg/cm²/mes y la menor, 2.458 mg/cm²/mes, lo cual es crucial en las interpolaciones y predicciones del modelado geoestadístico en el programa Arcgis con la interpolación de datos a través del método IDW, por su eficacia para obtener este tipo de datos. Además, se realizó una simulación con Matlab Web, dando como resultado un mapa de calor donde se observa la influencia del PAS y las condiciones atmosféricas en las zonas con mayor material sedimentado.

ABSTRACT

Sedimentable Particulate Matter (SPM) is a pollution factor in Tacna, Peru, which is a special protection area and of significant importance for students in research. This study aims to create a geostatistical model for the dispersion of SPM at influential points within the "Jorge Basadre Grohmann - UNJBG" university campus in Tacna Region. For this, a procedure was conducted to determine the weight concentration of sedimentable material, using particle monitoring, and with the methodological guide reviewed in the research background, the sampling area was determined within the UNJBG campus. The data obtained from the monitoring were very detailed, revealing that the highest SPM concentration was 11.3856 mg/cm²/month, and the lowest was 2.458 mg/cm²/month, which were crucial for performing interpolations and predictions to create the geostatistical model using ArcGIS with data interpolation via the IDW method, which is the most suitable for this type of data. Additionally, a simulation was performed with Matlab Web. The result was a heatmap showing the influence of SPM and atmospheric conditions in areas with the highest sedimented material.

Palabras clave: Polvo atmosférico sedimentable (PAS), polvo atmosférico, monitoreo, modelado, concentración, interpolación.

Keywords: Sedimentable Particulate Matter (SPM), atmospheric dust, monitoring, modeling, concentration, interpolation.

MODELAMIENTO GEOESTADÍSTICO DE LA DISPERSIÓN DE POLVO ATMOSFÉRICO SEDIMENTABLE EN PUNTOS DE INFLUENCIA DENTRO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO EN LA CIUDAD DE TACNA, PERÚ

Bryan Raul Ccosi Carita
ORCID: 0009-0006-0635-5875

Jorge Luis Mollinedo Cosi
ORCID: 0009-0002-0420-9357

Alex Caceres Calisaya
ORCID: 0009-0002-3724-3818

Kevin Anthony Chambilla Tello
ORCID: 0009-0005-3196-51252

Nelida Yuhmida Apaza Mamani
ORCID: 0009-0009-0988-175X12
<https://revista.scienceevolution.com/>





scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico

201 - 211

MODELAMIENTO GEOESTADÍSTICO DE LA DISPERSIÓN DE POLVO ATMOSFÉRICO SEDIMENTABLE EN PUNTOS DE INFLUENCIA DENTRO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO EN LA CIUDAD DE TACNA, PERÚ

Bryan Raul Ccosi Carita
ORCID: 0009-0006-0635-5875

Jorge Luis Mollinedo Cosi
ORCID: 0009-0002-0420-9357

Alex Caceres Calisayai
ORCID: 0009-0002-3724-3818

Kevin Anthony Chambilla Telloe
ORCID: 0009-0005-3196-51252

Nelida Yuhmida Apaza Mamani
ORCID: 0009-0009-0988-175X12
<https://revista.scienceevolution.com/>



INTRODUCCIÓN

El departamento de Tacna, Perú, representa un territorio con significativas perspectivas de crecimiento, caracterizado por una población de 321 351 habitantes, un parque automotor de 40.000 vehículos y un tejido empresarial compuesto por 17 339 unidades comerciales, las cuales están distribuidas en un espacio urbano de 16.075 km² (Casapia et al., 2019). El material particulado (PM) constituye una estructura química compleja que integra diversos elementos como metales, sales, compuestos carbonados, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos y endotoxinas. Estos componentes, presentan la capacidad de interactuar entre sí, generando nuevas combinaciones químicas. Por otra parte, su clasificación se realiza considerando características como su morfología y densidad, diferenciándose entre partículas lisas y gruesas (Cárdenas 2009). La Organización Mundial de la Salud [OMS] (2021) considera la contaminación atmosférica un desafío crítico para la salud pública, advirtiendo sobre los riesgos potenciales asociados a las concentraciones actuales en diversos países desarrollados. Para abordar esta problemática, las autoridades ambientales implementan sistemas de monitoreo mediante estaciones fijas estratégicamente ubicadas, lo que implica importantes inversiones económicas para garantizar una adecuada evaluación y diagnóstico de la calidad del aire (Eslava-Pedraza et al., 2020).

El polvo atmosférico precipitado (PAS) consiste en partículas en el aire que se acumulan en el suelo u otras superficies con el tiempo (Castro, 2019; Rodríguez, 2022). Diversas combinaciones de estos elementos, incluidos polvos minerales, productos químicos, metales pesados, compuestos orgánicos volátiles, compuestos tóxicos y otros contaminantes, están suspendidos en el aire de muchas fuentes diferentes, causando impactos negativos en la salud humana (Morakinyo et al., 2016). Asimismo, Miranda et al. (2019) muestran cómo condiciones atmosféricas estables, el desarrollo urbano, el aumento del tráfico vehicular, la expansión urbana, las calles sin pavimentar, entre otros factores, contribuyen a la acumulación de contaminantes en forma de partículas depositadas.

Entre los contaminantes del aire urbano, las partículas son el contaminante del aire más estudiado e importante del mundo, y representan un grupo de partículas sólidas y/o líquidas (excluida el agua pura), que aparecen en la atmósfera y tienen muchas propiedades morfológicas y físicas diferentes, propiedades químicas y termodinámica (Motocanche et al., 2020). De manera similar, los componentes solubles de los materiales pueden llegar a órganos distantes y causar daño (Cando et al., 2018). Las microfracturas particuladas presentes en el material sedimentario poseen características microscópicas que les permiten penetrar de manera intrusiva en el aparato respiratorio humano. Una vez internalizadas, estas estructuras submicrónicas pueden provocar alteraciones significativas en los tejidos pulmonares, generando potenciales complicaciones en la funcionalidad respiratoria. La exposición prolongada a estos compuestos diminutos puede desencadenar una cascada de efectos patológicos, desde procesos inflamatorios leves hasta padecimientos respiratorios de considerable gravedad. Entre los escenarios clínicos más frecuentes se encuentran condiciones como la afección bronquial crónica, manifestaciones asmáticas y la eventual configuración de escenarios de mayor complejidad médica en el sistema respiratorio (Miranda et al., 2019).

Dichas partículas representan un vector biomecánico capaz de generar disrupciones en los mecanismos de defensa pulmonar, modificando sustancialmente la respuesta inmunológica y la integridad de los tejidos respiratorios. Los contaminantes de diversas fuentes, tanto móviles como estacionarias, ponen de relieve la necesidad de estudiar su distribución espacial. Por lo anterior, el propósito del estudio es realizar modelamiento geoestadístico de las concentraciones de polvo depositado en la atmósfera en los puntos de impacto directo del parque industrial de Tacna.

La interpolación es el procedimiento de predicción de valores de propiedades en áreas no muestreadas, las cuales van en función de mediciones tomadas en ubicaciones específicas dentro de la misma área. Esta se utiliza para convertir datos de puntos de observación en campos continuos para comparar patrones espaciales seleccionados de estas mediciones con patrones espaciales de otras características espaciales. En este sentido, la interpolación espacial se basa en la observación muy común de que, en promedio, los valores en puntos cercanos en el espacio son más similares que en puntos más alejados. Es así que, los métodos de interpolación espacial incluyen interpolación con función en base radial (RBF), interpolación de distancia inversa ponderada (IDW) y Kriging (Romero Ríos, J. M., & Castaño Salazar, D., 2020).

En el ámbito de la investigación ambiental, cerca de la UNJBG, se emplean técnicas geoestadísticas para cartografiar la distribución de contaminantes atmosféricos. Estos modelos permiten analizar la dispersión de partículas, detectar patrones de distribución espacial y determinar potenciales



Bryan Raul Ccosi Carita
ORCID: 0009-0006-0635-5875

Jorge Luis Mollinedo Cosi
ORCID: 0009-0002-0420-9357

Kevin Anthony Chambilla Telloe
ORCID: 0009-0005-3196-51252

Alex Caceres Calisayai
ORCID: 0009-0002-3724-3818

Nelida Yuhmida Apaza Mamani
ORCID: 0009-0009-0988-175X12
<https://revista.scienceevolution.com/>

riesgos sanitarios mediante el estudio de variables específicas. La metodología geoestadística tiene aplicaciones diversas en múltiples disciplinas científicas, incluyendo geología, climatología, ecología, agricultura y minería. Su principal fortaleza radica en la capacidad de interpretar datos georreferenciados, lo que facilita la comprensión y predicción de fenómenos que dependen de su ubicación geográfica (Coronado, 2023). El enfoque se centra en examinar cómo los elementos se distribuyen y varían en diferentes espacios geográficos, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones en diversos campos de investigación. Por ello, la hipótesis principal de este estudio es que el modelado geoestadístico de la dispersión del polvo atmosférico sedimentable (PAS) en puntos de influencia dentro del campus universitario "Jorge Basadre Grohmann" en la Región de Tacna, supera los límites establecidos por la normativa nacional y los estándares internacionales, debido a las actividades industriales y el tráfico vehicular.

El objetivo principal del artículo es modelar de forma geoestadística la dispersión del polvo atmosférico sedimentable en puntos de influencia dentro del campus universitario "Jorge Basadre Grohmann" en la Región de Tacna. Asimismo, los objetivos específicos fueron examinar y monitorear las zonas de mayor influencia de polvo atmosférico sedimentable en 8 puntos dentro del campus universitario y analizar la concentración de polvo atmosférico sedimentable mediante el modelado geoestadístico utilizando los software Qgis y Matlab Web.

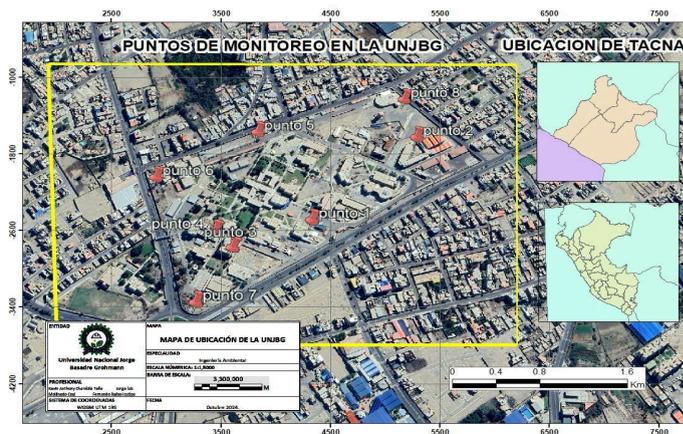
MÉTODO

Análisis de estudio

Al recopilar información de estudiantes universitarios, teniendo en cuenta diferentes niveles de exposición y posibles consecuencias ambientales, se identificaron ocho sitios que estuvieron ubicados estratégicamente entre octubre y noviembre de 2024, con períodos de muestreo mensuales integrados. El estudio se llevó a cabo en el campus de la universidad "Jorge Basadre Grohmann" en la región Tacna. Los puntos de muestreo se determinaron mediante la técnica pasiva de Bergerhoff. Este método implica capturar material atmosférico manteniendo el contenedor durante un período de tiempo específico. Durante este período, hay una acumulación de partículas depositadas tanto en forma seca como húmedas, generalmente dentro de un mes (Ibazeta, 2019).

Gráfico 1

Puntos de muestreo de placas receptoras "Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann"



Análisis de puntos de muestreo y ubicación de placas receptoras

El gráfico 1 muestra la secuencia de operaciones realizadas, con contenedores de recolección colocados para cada muestra durante un período de 7 días. Pasado este tiempo, se recogieron y almacenaron cuidadosamente en conos para garantizar la seguridad de la muestra. Luego, se instalaron los nuevos paneles siguiendo el mismo procedimiento que la primera semana de los recolectores de paneles, repitiéndose el ciclo hasta completar 1 mes (Valdivia & Coronado, 2023).





Bryan Raul Ccosi Carita
ORCID:0009-0006-0635-5875

Jorge Luis Mollinedo Cosi
ORCID: 0009-0002-0420-9357

Alex Caceres Calisayai
ORCID: 0009-0002-3724-3818

Kevin Anthony Chambilla Telloe
ORCID: 0009-0005-3196-51252

Nelida Yuhmida Apaza Mamani
ORCID: 0009-0009-0988-175X12
<https://revista.scienceevolution.com/>



Gráfico 2

Diagrama de flujo sobre el procedimiento realizado en las concentraciones de PAS



Materiales usados en el monitoreo

Para el monitoreo se utilizó placas receptoras de PAS, las cuales, según la metodología, son adecuadas para este tipo de investigación. Las placas de vidrio de 10 x 10 cm se codifican según los puntos de ubicación de las casetas. Este paso asegura una identificación clara de cada muestra. Por ello, se realiza un pesaje inicial de las placas utilizando una balanza analítica de cuatro decimales de precisión. Finalmente, los pesos se registran cuidadosamente en fichas de registro (Valdivia & Coronado, 2023).

Tabla 1

Diagrama de flujo sobre el procedimiento realizado en las concentraciones de PAS

Puntos de Muestra	Este	Norte
Vaselina	Casetas	Cámara
Alcohol	Piezas de vidrio 10x10	Libreta
Agua destilada	Balanza analítica	EPPS
Guantes quirúrgicos	GPS	Software

Procedimiento a seguir en campo

Las estaciones fueron instaladas en áreas de muestreo según el Protocolo Nacional de Monitoreo del Aire (MINAM, 2019). Estas estaciones están ubicadas en áreas que previamente han sido analizadas como de menor nivel de salud y entran en contacto directo con los estudiantes de la UNJBG, lo que puede afectar parcialmente la salud a largo plazo. Además, también se tuvo en cuenta los límites de comparación marcados por las directrices de la Organización Mundial de la Salud [OMS] (2021). Asimismo, la instalación debe realizarse con material protector para no afectar el panel y, por tanto, el peso de la muestra. El uso de guantes protectores y una máscara garantizan una mayor precisión del muestreo. El proceso implica limpiar y marcar cada panel y, luego, aplicar una capa uniforme de vaselina a la superficie de cada uno (Coaquira & Almanza, 2023).

Gráfico 3

Instalación de la caseta de monitoreo de PAS





Bryan Raul Ccosi Carita
ORCID:0009-0006-0635-5875

Jorge Luis Mollinedo Cosi
ORCID: 0009-0002-0420-9357

Kevin Anthony Chambilla Telloe
ORCID: 0009-0005-3196-51252

Alex Caceres Calisayai
ORCID: 0009-0002-3724-3818

Nelida Yuhmida Apaza Mamani
ORCID: 0009-0009-0988-175X12
<https://revista.scienceevolution.com/>



Posteriormente, durante el período de exposición, que dura una semana, se mantuvo una vigilancia constante de las condiciones climatológicas, actividades antropogénicas y otras circunstancias del entorno que pudiesen afectar los resultados. Al finalizar el período de exposición semanal, se recogieron las placas y se reemplazaron por nuevas previamente pesadas. Este proceso asegura la continuidad del monitoreo. Las placas recolectadas se llevan al laboratorio para ser pesadas nuevamente en la balanza analítica. Este peso final se anotó en la ficha de registro, completando así el ciclo de medición para cada muestra (Santillán Lima et al., 2024).

Procedimiento para determinar la cantidad de polvo atmosférico

Las placas retiradas se transportaron en sus respectivos contenedores al laboratorio para su análisis. En paralelo, se mantuvo un registro semanal de eventos relevantes en el sitio de monitoreo, como condiciones climáticas inusuales o cualquier incidente que pudiera afectar los resultados. El ciclo de monitoreo se completó después de siete días calendario, momento en el cual se realiza el cambio de placas. Este procedimiento se repitió durante todo el período de estudio, asegurando una recolección de datos consistente y fiable (Valdivia & Coronado, 2023). Después de 30 días, se retiraron las placas. Luego, las placas recogidas se enviaron a un laboratorio para determinar su peso final. Por último, se realizaron los cálculos para determinar la concentración de PAS (Coaquira & Almanza, 2023).

Análisis de datos

$$DP(g) = Pf(g) - Pi(g)$$

Donde:

Dp: diferencia de pesos (g)

Pf: peso final (g) = peso de placa + vaselina + PAS

Pi: peso inicial (g) = peso de placa + vaselina

Luego, se hace la siguiente relación:

$$Dp(g) \frac{100 \text{ cm}^2 \text{ (área pieza de vidrio } 10 \times 10 \text{ cm de lado)}}{X(g) \frac{1 \text{ cm}^2 \text{ (área para comparar la relación con los valores OMS)}}$$

Después, el valor de X, que es interpretado por "g" (gramos), tiene que ser cambiado a toneladas, para hallar la relación con el resultado guía que establece la OMS para PAS (Santillán Lima et al., 2024).

$$\text{Valor guía de la OMS} = 0.5 \text{ mg} / \text{cm}^2 / 30 \text{ días}$$

Gráfico 4

Pesado de las placas receptoras de PAS en el laboratorio



Modelamiento con interpolación de distancia inversa (IDW)

La metodología geoestadística se implementó mediante la aplicación del procedimiento de interpolación de distancia inversa (IDW), un método analítico que permite estimar valores mediante un proceso de interpolación lineal fundamentado en las concentraciones próximas al indicador original.



Bryan Raul Ccosi Carita
ORCID: 0009-0006-0635-5875

Jorge Luis Mollinedo Cosi
ORCID: 0009-0002-0420-9357

Kevin Anthony Chambilla Telloe
ORCID: 0009-0005-3196-51252

Alex Caceres Calisayai
ORCID: 0009-0002-3724-3818

Nelida Yuhmida Apaza Mamani
ORCID: 0009-0009-0988-175X12
<https://revista.scienceevolution.com/>



A continuación, utilizando la herramienta computacional Qgis, se procedió a la elaboración cartográfica para identificar y representar espacialmente la distribución del PAS. Por ello, el estudio se centró en el período correspondiente al mes de octubre, abarcando un ciclo de monitoreo de cuatro semanas, con el propósito de caracterizar la dispersión y concentración de partículas en el entorno geográfico analizado (Valdivia & Coronado, 2023).

La técnica de interpolación permitió generar una representación visual y cuantitativa de la distribución espacial del material particulado, facilitando la comprensión de los patrones de dispersión atmosférica durante el periodo estudiado. Finalmente, se recogieron los datos del PAS obtenidos del periodo comprendido entre octubre y noviembre; de este modo, se pudo determinar la dispersión de PM con el método de IDW. Este método permite observar de manera más comprensible las zonas con mayor impacto y de mayor concentración de PAS (Santillán Lima et al, 2024).

RESULTADOS

En la Tabla 2 de los resultados de datos de monitoreo realizados entre los meses de octubre y noviembre de 2024 en diferentes ubicaciones del campus universitario, se observa un patrón consistente de mediciones durante el horario diurno. Los resultados muestran que todas las estaciones superan el estándar establecido por la OMS de 0.5 mg/cm²/mes, siendo la "Escuela de Ingeniería Civil" la que presenta la concentración más elevada (11.3856 mg/cm²/mes), mientras que "Comedor Universitario" registra una de las concentraciones más bajas aunque aún por encima del límite (2,458 mg/cm²/mes). La distribución espacial de las mediciones, identificadas por sus coordenadas específicas (entre 367 515 y 8 006 532), sugiere una cobertura significativa del campus, lo que indica que la problemática de la calidad del aire no se limita a zonas específicas, sino que es una condición generalizada que requiere atención integral en toda el área universitaria.

Tabla 2

Resultados de todos los puntos de monitoreo, en comparación al promedio que dicta la OMS en cuanto al polvo atmosférico

Estación de monitoreo	Coordenadas		Fecha	Resultados (mg/cm ² /mes)	OMS (mg/cm ² /mes)
Centro de investigación ESAM	367 827	8 006 532	23/10/2024	3.8604 mg/cm ² /mes	0.5/cm ² /mes
Escuela de artes	368 042	8 006 735	23/10/2024	7.6215 mg/cm ² /mes	0.5/cm ² /mes
Escuela de Arquitectura	367 673	8 006 468	23/10/2024	2.4934 mg/cm ² /mes	0.5/cm ² /mes
Escuela de ing, civil	367 638	8 006 506	23/10/2024	11.3856 mg/cm ² /me	0.5/cm ² /mes
Puerta Av. Miraflores	367 717	8 006 746	23/10/2024	5.0979 mg/cm ² /mes	0.5/cm ² /mes
Comedor universitario	367 515	8 006 632	23/10/2024	2.458 mg/cm ² /mes	0.5/cm ² /mes
Escuela de matemática	367 607	8 006 346	23/10/2024	2.885 mg/cm ² /mes	0.5/cm ² /mes
Zona de residuos UNJBG	368 021	8 006 833	23/10/2024	2.5701 mg/cm ² /mes	0.5/cm ² /mes

En el Gráfico 5 se observa que todas las ubicaciones superan el límite establecido por la (OMS, 2021) (0.5 mg/cm²/mes), siendo la Escuela de Ingeniería Civil el punto más crítico con 11.3856 mg/cm²/mes (más de 20 veces el límite), seguido por la Escuela de Artes con 7.6215 mg/cm²/mes, mientras que el resto de las estaciones mantienen valores entre 2.4 y 5.1 mg/cm²/mes; esta situación indica un problema sistemático de calidad del aire en toda el área universitaria que requiere atención inmediata, especialmente en las zonas donde se registran los valores más altos, siendo necesario investigar las causas específicas, que podrían estar relacionadas con la proximidad a fuentes de contaminación.



Bryan Raul Ccosi Carita
ORCID:0009-0006-0635-5875

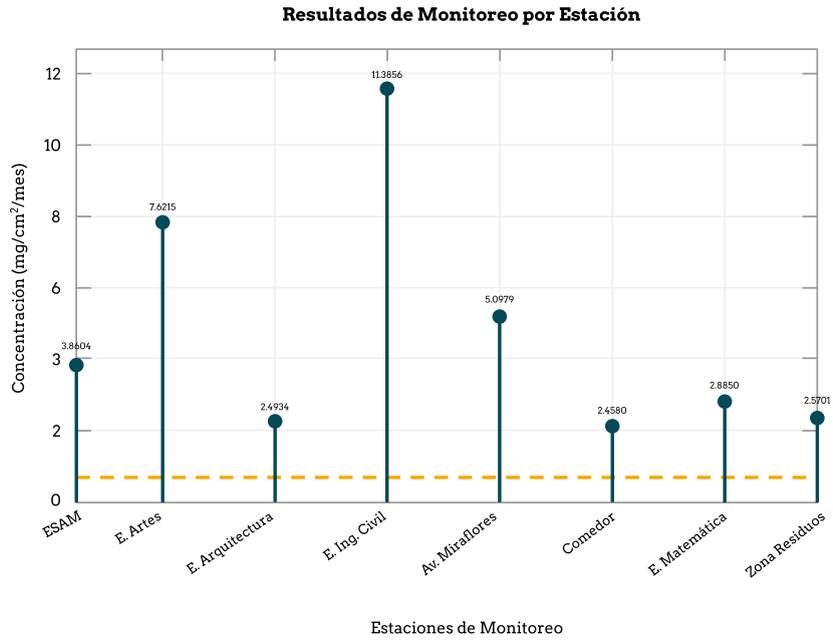
Jorge Luis Mollinedo Cosi
ORCID: 0009-0002-0420-9357

Kevin Anthony Chambilla Telloe
ORCID: 0009-0005-3196-51252

Alex Caceres Calisayai
ORCID: 0009-0002-3724-3818

Nelida Yuhmida Apaza Mamani
ORCID: 0009-0009-0988-175X12
<https://revista.scienceevolution.com/>

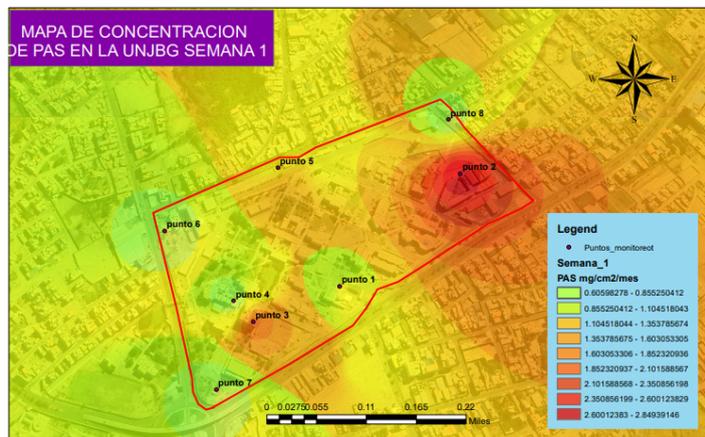
Gráfico 5
Gráfica de Bastones generada en Matlab Web



Modelamiento Geoestadístico de concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS)

El Gráfico 6 muestra el mapa de concentración de PAS en la UNJBG durante la semana 1, la cual muestra una escala de colores que representa diferentes rangos de concentración, medidos en mg/cm²/mes, los colores van desde el verde claro, que indica la menor concentración (entre 0.605986278 - 0.855250412 mg/cm²/mes), hasta el rojo oscuro, que señala la mayor concentración (entre 2.350856199 - 2.60012383 mg/cm²/mes), los tonos intermedios de amarillo, naranja y rojo claro representan concentraciones progresivamente más altas dentro de este espectro.

Gráfico 6
Mapa de monitoreo de polvo sedimentable dentro del campus universitario



El muestra un mapa de concentración de PAS en la UNJBG para la semana 2, que al compararse con la información de la semana 1, se observa que los niveles de concentración han aumentado en algunas áreas, representados por colores más cálidos y oscuros en la nueva leyenda. Los puntos de monitoreo marcados en el mapa se mantienen, pero los rangos de concentración han cambiado, con algunas zonas ahora en los niveles más altos de rojo oscuro, que indican concentraciones de PAS entre 2.400123831 - 2.648391462 mg/cm²/mes, esto indica un incremento en los niveles de contaminación en el campus universitario durante la segunda semana del estudio.





Bryan Raul Ccosi Carita
ORCID: 0009-0006-0635-5875

Jorge Luis Mollinedo Cosi
ORCID: 0009-0002-0420-9357

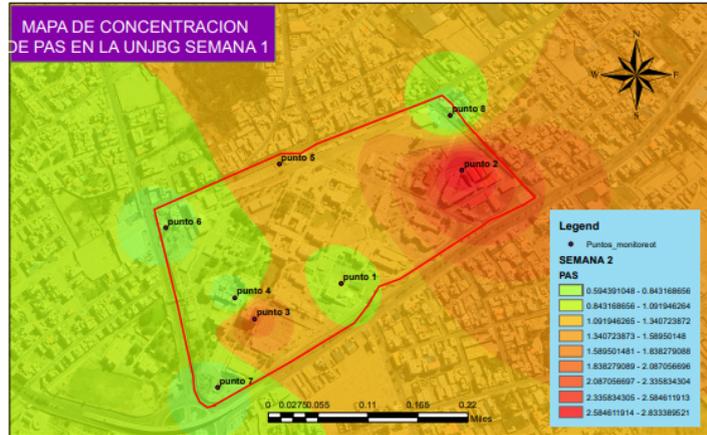
Kevin Anthony Chambilla Telloe
ORCID: 0009-0005-3196-51252

Alex Caceres Calisayai
ORCID: 0009-0002-3724-3818

Nelida Yuhmida Apaza Mamani
ORCID: 0009-0009-0988-175X12
<https://revista.scienceevolution.com/>

Gráfico 7

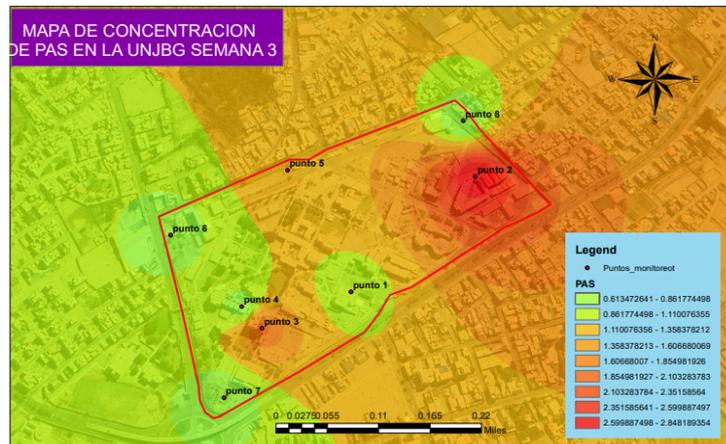
Mapa de monitoreo de polvo sedimentable dentro del campus universitario



El Gráfico 8 muestra el mapa de concentración de PAS en la UNJBG para la semana 3, que al comparar con las semanas anteriores, se observa que los niveles de concentración han disminuido ligeramente en algunas zonas, representados por colores más claros en la leyenda. Sin embargo, aún persisten áreas con niveles que van de moderados a altos de PAS, especialmente en la zona central marcada que es el punto 2, los rangos de concentración en la leyenda van desde 0.633674805 - 0.867165897 mg/cm²/mes (verde claro) hasta 2.244087485 - 2.477578577 mg/cm²/mes (rojo oscuro), esto indica que, si bien ha habido una leve mejora, los niveles de contaminación por PAS siguen siendo una preocupación en el campus universitario.

Gráfico 8

Mapa de monitoreo de polvo sedimentable dentro del campus universitario



El Gráfico 9 muestra el mapa de concentración de PAS en la UNJBG para la semana 4, al analizar la evolución a través de las semanas anteriores, se observa una tendencia general a la disminución de los niveles de concentración de PAS en el campus, en esta semana 4, la mayoría del área se encuentra en tonos verdes, indicando rangos más bajos de 0.633674805 - 1.116507544 mg/cm²/mes. Sin embargo, persiste una zona central más crítica que es el punto 2, el cual sigue presentando niveles elevados de contaminación por PAS, representados por los colores naranjas y rojos en la leyenda, de 1.599340284 a 2.487578577 mg/cm²/mes.





Bryan Raul Ccosi Carita
ORCID:0009-0006-0635-5875

Jorge Luis Mollinedo Cosi
ORCID: 0009-0002-0420-9357

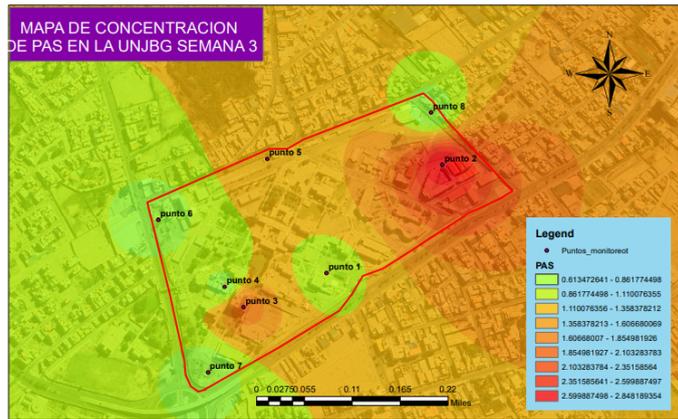
Kevin Anthony Chamilla Telloe
ORCID: 0009-0005-3196-51252

Alex Caceres Calisayai
ORCID: 0009-0002-3724-3818

Nelida Yuhmida Apaza Mamani
ORCID: 0009-0009-0988-175X12
<https://revista.scienceevolution.com/>

Gráfico 9

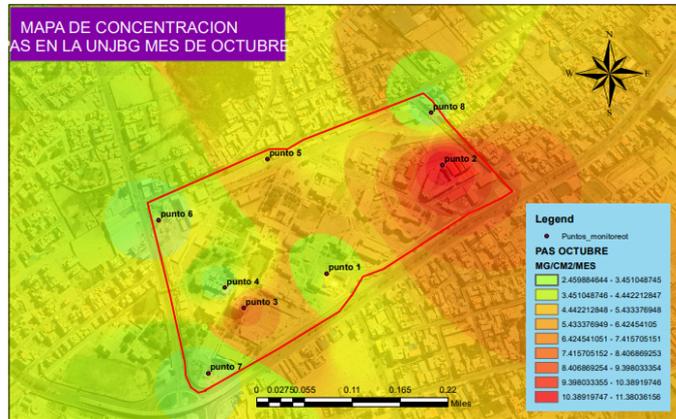
Mapa de monitoreo de polvo sedimentable dentro del campus universitario



El Gráfico 10 muestra el mapa de concentración de PAS en la UNJBG para el mes de octubre. Esto evidencia que, en comparación a las semanas anteriores, se observa una evolución reflejada en la disminución de los niveles de contaminación en el campus universitario. En el mapa de octubre, la mayor parte del área se encuentra en tonos verdes, lo que representa rangos más bajos de concentración de PAS, entre 2.000163541 - 3.440647647 mg/cm²/mes. Sin embargo, persiste una zona central, como el punto 2, que continúa exhibiendo niveles elevados de contaminación, representados por los colores naranjas y rojos en la leyenda, con valores de 8.006654728 a 10.30097147 mg/cm²/mes.

Gráfico 10

Mapa de monitoreo de polvo sedimentable dentro del campus universitario



DISCUSIÓN

Las investigaciones adicionales en Perú exploraron más a fondo la relación entre las actividades industriales, como la fabricación de ladrillos y los niveles de partículas en suspensión en el aire. Los datos fueron recolectados durante 60 días en 13 lugares estratégicos, utilizando estaciones meteorológicas del Organismo Hidrometeorológico Nacional del Perú (SENAMHI). Este enfoque nos permite analizar los patrones de dispersión y las principales fuentes de emisiones de partículas. Asimismo, herramientas como Arctoolbox y el análisis estadístico, han confirmado la precisión de los modelos utilizados, destacando su utilidad práctica en entornos urbanos e industriales (Vargas, 2019).

En un estudio longitudinal realizado por (Dávila, 2022) en la zona de Comas de Lima, se analizaron las concentraciones de PAS. También, se utilizaron métodos pasivos para evaluar la carga de polvo y se probó la eficacia de un purificador de aire desarrollado específicamente para este estudio. Este enfoque nos permite identificar áreas con altas concentraciones de partículas y probar nuevas soluciones para reducir su impacto en la salud y el medio ambiente.





Bryan Raul Ccosi Carita
ORCID: 0009-0006-0635-5875

Jorge Luis Mollinedo Cosi
ORCID: 0009-0002-0420-9357

Alex Caceres Calisayai
ORCID: 0009-0002-3724-3818

Kevin Anthony Chambilla Telloe
ORCID: 0009-0005-3196-51252

Nelida Yuhmida Apaza Mamani
ORCID: 0009-0009-0988-175X12
<https://revista.scienceevolution.com/>



Por el contrario, Silva (2021) estudió la relación entre la concentración de polvo sedimentado y el aumento de infecciones respiratorias agudas en Hualmay, Lima. Un estudio que utilizó gravimetría pasiva encontró que las concentraciones promedio de polvo excedían los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Además, se encontró una correlación significativa entre los niveles de polvo y la incidencia de enfermedades respiratorias, lo que indica la importancia de implementar medidas de control ambiental en las zonas urbanas para proteger la salud pública.

CONCLUSIONES

Mediante los resultados obtenidos, se encontró que algunos valores exceden los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), conforme a lo estipulado en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM (MINAM, 2017).

En relación con el Material Particulado (PM) captado mediante vaselina en las placas de vidrio, se observó que algunas concentraciones son superiores o inferiores a las indicadas por la OMS (2021). Estas variaciones podrían estar asociadas a la ubicación de la caseta de monitoreo utilizada en el estudio.

Finalmente, los datos obtenidos de las ocho estaciones de monitoreo mostraron que la mayor cantidad de material particulado captado con la placa de vidrio con vaselina se registró en la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, mientras que la menor concentración se detectó en la Escuela Profesional de Arquitectura.

REFERENCIAS

Cando, L. J. R., Armijos, M., Crespo, M., Casignia, S. P. P., & Mendoza, C. I. A. (2018). Modelamiento geoestadístico de mediciones de concentración de material particulado (PM10) para la validación de un método simplificado. *Anales científicos*, 79(1), 81–91. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i1.1143>

Cárdenas Franco, H. A. (2009). Consideraciones del material particulado en Bogotá. Alternativas tecnológicas de medición de la calidad del aire. *Tecnura*, 13(25), 104–115. <https://doi.org/10.14483/22487638.6673>

Casapia, J. L. S. M., Aruhuanca, L. M., & Rojas, M. H. (2019). Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable y material particulado (PM2.5, PM10) para la gestión de la calidad del aire 2017, en la ciudad de Tacna. *Ingeniería Investiga*, 1(1), 124–138. <https://revistas.upt.edu.pe/ojs/index.php/ingenieria/article/view/128/113>

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>

Coaquira Canllahui, K. R., & Almanza Quispe, W. S. (2023). Polvo atmosférico sedimentable y ruido ambiental: caso de estudio en la zona centro de Tacna durante la pandemia COVID 19. *Ingeniería Investiga*, 5. <https://doi.org/10.47796/ing.v5i0.793>

Davila, S. A. (2022). Evaluación espacial de concentraciones de polvo atmosférico sedimentable (PAS) y propuesta de una alternativa de purificación en la Urbanización La Libertad – distrito de Comas, 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33949>

Eslava-Pedraza, J. E., Martínez-Sarmiento, F. A., Soto-Vergel, Á. J., Vera-Rozo, E. J., & Guevara-Ibarra, D. (2020). Diseño de un sistema de medición de material particulado mediante un vehículo aéreo no tripulado. *Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 8(S1), 1–15. [https://revistas.udes.edu.co/aibi/article/view/dise%C3%B1o de un sistema de medicion de material particulado mediant](https://revistas.udes.edu.co/aibi/article/view/dise%C3%B1o%20de%20un%20sistema%20de%20medici%C3%B3n%20de%20material%20particulado%20mediante%20un%20veh%C3%ADculo%20a%C3%A9reo%20no%20tripulado)

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>

MINAM, Ministerio del Ambiente. (2019). Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire. <https://goo.su/B6OISzM>



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico

201 - 211

MODELAMIENTOS GEOESTADÍSTICO DE LA DISPERSIÓN DE POLVO ATMOSFÉRICO SEDIMENTABLE EN PUNTOS DE INFLUENCIA DENTRO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO EN LA CIUDAD DE TACNA, PERÚ

Bryan Raul Ccosi Carita
ORCID: 0009-0006-0635-5875

Jorge Luis Mollinedo Cosi
ORCID: 0009-0002-0420-9357

Kevin Anthony Chambilla Telloe
ORCID: 0009-0005-3196-51252

Alex Caceres Calisayai
ORCID: 0009-0002-3724-3818

Nelida Yuhmida Apaza Mamani
ORCID: 0009-0009-0988-175X12
<https://revista.scienceevolution.com/>



Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM*. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2017-minam/>

Miranda Casapia, J. L. S., Merma Aruahuanca, L., & Herrera Rejas, M. (2019). Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable y material particulado (PM2.5, PM10) para la gestión de la calidad del aire 2017, en la ciudad de Tacna. *Ingeniería Investiga*, 1(1), 124–138. <https://doi.org/10.47796/ing.v1i1.128>

Morakinyo, O. M., Mokgobu, M. I., Mukhola, M. S., & Hunter, R. P. (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>

Motocanche Ayala, D., & Lazo Ramos, R. S. (2020). Condiciones meteorológicas y material particulado PM10 y PM2.5 en la construcción del hospital Hipólito Unánue, Tacna 2019. *Ingeniería Investiga*, 2(01), 276–285. <https://doi.org/10.47796/ing.v2i01.297>

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>

Romero Ríos, J. M., & Castaño Salazar, D. (2020). Modelado espacial hidrogeológico para determinar índices de calidad y vulnerabilidad de las aguas subterráneas en la zona centro de Boyacá. <http://hdl.handle.net/11349/29264>

Santillán Lima, G. P., Santillán-Lima, J. C., Caichug-Rivera, D. M., Orozco Pilco, J. J., Rivera Castillo, M. F., & Dávalos Merino, G. E. (2024). Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable del sector de ladrilleras de la matriz del cantón Chambo. *Tesla Revista Científica*, 4(1), e322. <https://doi.org/10.55204/trc.v4i1.e322>

Silva, V. (2021). *Monitoreo de polvo atmosférico sedimentable y su relación con las infecciones respiratorias agudas en el distrito de Hualmay, octubre–diciembre del 2019* [Tesis, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/4816>

Valdivia Olivera A. D., & Coronado Fernández, M. (2023). Modelado geoestadístico del polvo atmosférico sedimentable en una comunidad campesina altoandina de Tacna, Perú. *Ingeniería Investiga*, 5. <https://doi.org/10.47796/ing.v5i0.867>

Vargas Flores, V. O. (2019). *Modelamiento geoestadístico para la determinación de polvo atmosférico sedimentable, usando los métodos de colectores de polvo y placas receptoras en el área de influencia directa de una ladrillera en el Distrito de Calana-Tacna*. [Tesis, Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1260>

Organización Mundial de la Salud (2021). *Global air quality guidelines*. <https://qoo.su/h7VAspZ>