

**ANÁLISIS DEL MATERIAL PARTÍCULADO PM_{2.5} Y PM₁₀ EN LA UNIVERSIDAD
POPULAR DEL CESAR SEDE SABANAS**

AUTOR (ES):

MARLIN JULIETH BENJUMEA PALACIO

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR - CESAR**

2025



**ANALISIS DEL MATERIAL PARTÍCULADO PM2.5 Y PM10 EN LA
UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR SEDE SABANAS**

AUTOR (ES):

MARLIN JULIETH BENJUMEA PALACIO

DIRECTOR (ES):

MARLON JOSE BASTIDAS BARRANCO

Doctor en Ingeniería

CO-DIRECTOR:

MAG. LINA PATRICIA RODRÍGUEZ BECERRA

Magister en Pedagogía Ambiental Para el Desarrollo Sostenible

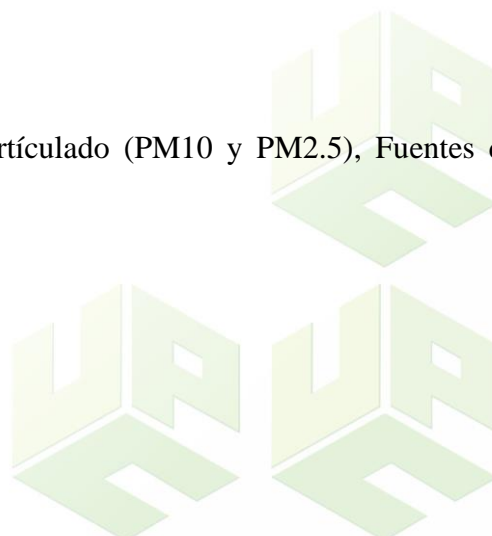
**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR - CESAR**

2025

RESUMEN

La contaminación del aire es un problema ambiental creciente, especialmente en espacios cerrados, donde las partículas suspendidas afectan la salud humana. Este trabajo de grado tuvo como objetivo evaluar los periodos críticos en el último trimestre del año 2024 generado por criterios contaminantes en la Universidad Popular del Cesar, sede Sabanas. Para ello, se desarrolló una fundamentación teórica sobre los efectos del material particulado PM10 y PM2.5 en el ambiente y la salud. Además, se caracterizaron las zonas de mayor concentración de estos contaminantes dentro de la sede y se identificaron sus fuentes, ya sean fijas (industria, agricultura) o móviles (vehículos de transporte). Los contaminantes atmosféricos se clasificaron en primarios, que mantuvieron su composición desde su emisión, y secundarios, que resultaron de reacciones químicas en la atmósfera. La contaminación por partículas suspendidas fue especialmente preocupante, ya que algunas, denominadas "respirables", tenían un diámetro menor o igual a 10 μm y pudieron ingresar a las vías respiratorias, afectando la calidad del aire y la salud. Su composición incluye sulfatos, hidrocarburos y hollín, asociados con enfermedades respiratorias y cardiovasculares. El análisis del material particulado se realizó mediante un prototipo desarrollado en esta tesis, titulado "Sistema de medición de las inmisiones del material particulado PM10 y PM2.5 bajo un ambiente IoT en la sede Sabanas de la Universidad Popular del Cesar". Este estudio permitió comprender los niveles de contaminación y contribuir a estrategias de mitigación dentro del campus.

Palabras claves: Contaminación del aire, Material particulado (PM10 y PM2.5), Fuentes de emisión, Calidad del aire, Medición ambiental.



ABSTRACT

Air pollution is a growing environmental problem, especially in closed spaces, where suspended particles affect human health. The objective of this graduate work was to evaluate the critical periods in the last quarter of the year 2024 generated by polluting criteria at the Universidad Popular del Cesar, Sabanas campus. For this purpose, a theoretical foundation was developed on the effects of PM10 and PM2.5 particulate matter on the environment and health. In addition, the areas with the highest concentration of these pollutants within the campus were characterized and their sources were identified, whether stationary (industry, agriculture) or mobile (transport vehicles). Air pollutants were classified as primary, which maintained their composition since their emission, and secondary, which resulted from chemical reactions in the atmosphere. Contamination by suspended particles was of particular concern, since some of them, called “respirable”, had a diameter of 10 μm or less and could enter the respiratory tract, affecting air quality and health. Their composition includes sulfates, hydrocarbons and soot, associated with respiratory and cardiovascular diseases. The analysis of particulate matter was performed by means of a prototype developed in this thesis, entitled “System for measuring PM10 and PM2.5 particulate matter immissions under an IoT environment at the Sabanas branch of the Universidad Popular del Cesar”. This study allowed to understand the levels of contamination and contribute to mitigation strategies within the campus.

Key words: *Air pollution, Particulate matter (PM10 and PM2.5), Emission sources, Air quality, Environmental measurement.*

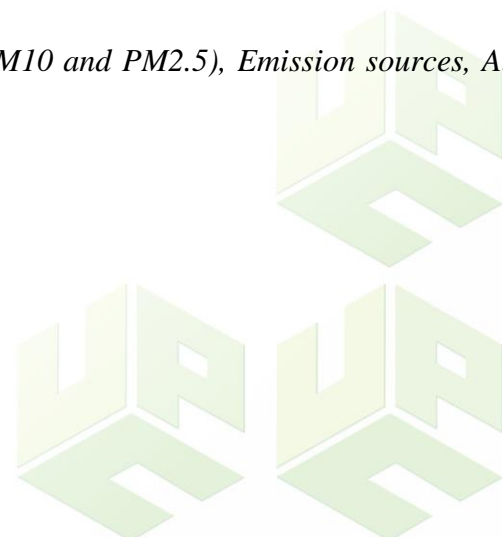


Tabla de Contenido

Resumen.....	5
Introducción.....	10
1. Planteamiento del problema.....	12
1.1. Formulación del problema.....	13
2. Justificación.....	15
3. Objetivos.....	17
3.1. Objetivo general.....	17
3.2. Objetivos específicos.....	17
4. Marco referencial.....	18
4.1. Antecedentes.....	18
4.1.1. <i>Ámbito internacional</i>	18
4.1.2. <i>Ámbito nacional</i>	19
4.2. Marco teórico.....	20
4.2.1. <i>Características del material particulado: naturaleza y propiedades</i>	20
4.1.3 <i>Impactos del material particulado en la salud y el medio ambiente</i>	20
4.1.4 <i>Métodos de monitoreo y control del material particulado</i>	21
4.3.1. <i>Material particulado</i>	22
4.3.2. <i>PM2.5</i>	23
4.3.3. <i>PM10</i>	23
4.3.4. <i>Clasificación de las partículas según su tamaño</i>	23
4.3.5. <i>Calidad del aire en sitios cerrados</i>	23
4.3.6. <i>Contaminantes primarios</i>	24
4.3.7. <i>Contaminantes secundarios</i>	24
4.3.8. <i>Ozono (o₃)</i>	24
4.3.9. <i>Dióxido de azufre</i>	24
4.3.10. <i>Monóxido de carbono</i>	25
4.3.11. <i>Dióxido de nitrógeno (no₂)</i>	25
4.4. Marco contextual.....	25
4.4.1. <i>Localización y ubicación</i>	26
4.4.2. <i>Ubicación geográfica</i>	26
4.4.3. <i>Localización geográfica de la universidad popular sede sabanas</i>	27

4.5. Marco legal	28
5. Marco metodológico	31
5.1. Enfoque.....	31
5.2. Área de localización de estudio	31
5.3. Población de estudio.....	32
5.4. Fuentes de información	32
5.5. Análisis metodológico por objetivos	32
6. Resultados y análisis	34
7. Conclusiones	43
8. Recomendaciones	45
anexos	49



LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Ubicación del departamento del Cesar.	26
Fig. 2. Ubicación de la Ciudad de Valledupar.	26
Fig. 3. Ubicación de la Universidad Popular del Cesar sede Sabanas.	27
Fig. 4. Sectorización por comunas de la ciudad de Valledupar	27
Fig. 5. Graficas obtenidas desde la página web del dispositivo en el parqueadero de motocicletas.....	36
Fig. 6. Instalación de dispositivo para medición en la entrada del parqueadero de motocicletas	37
Fig. 7. Instalación de dispositivo para medición en la caldera de procesos agroindustriales	40
Fig. 8. Graficas obtenidas desde la página web del dispositivo en la caldera de procesos agroindustriales	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normas ambientales. Fuente: elaboración propia.....	28
Tabla 2. Valores límites máximos permisibles de contaminación. Fuente: Resolución 2254 de 01 de noviembre del 2017	28
Tabla 3. normativas vigentes para el control de las emisiones de fuentes fijas	29
Tabla 4. normatividad vigente para el control de fuentes móviles	29
Tabla 5. Metodología objetivos específicos.....	32
Tabla 6. Datos adquiridos por el prototipo en el parqueadero de motocicletas de la universidad	34
Tabla 7... Datos adquiridos por el prototipo la caldera de procesos agroindustriales de la universidad.....	39



7. CONCLUSIONES

Esta investigación se realizó con el fin de evaluar los periodos críticos de contaminación de material particulado PM 10 y PM 2.5 en la Universidad Popular del Cesar Sede Sabanas durante el último trimestre de 2024. A través de la revisión de la literatura hallada, la caracterización de los puntos críticos y de la identificación de las fuentes móviles mediante un prototipo de medición se buscó realizar una recolección de información valiosa para comprender la calidad del aire a la que se está sometiendo el personal de la universidad todos los días. Los resultados obtenidos permitieron comprender mejor la dinámica de la contaminación atmosférica producida tanto en ambientes cerrados como abiertos, dando base para la implementación de estrategias para la reducción y control del material particulado en el campus educativo

Con respecto a la fundamentación teórica sobre el material particulado PM 10 y PM 2.5 en espacios cerrados permitió evidenciar su efecto perjudicial tanto para la calidad del aire como para la salud humana. A través del análisis de diversas fuentes científicas, se estableció que estas partículas, al ser de tamaño reducido, pueden ingresar fácilmente al sistema respiratorio y generar enfermedades cardiovasculares y pulmonares. Además, se identificó que, en entornos abiertos, como la entrada del parqueadero de motocicletas, la acumulación de estos contaminantes es mayor debido a la aglomeración de motocicletas, lo que agrava sus efectos adversos. Este estudio, realizado en la Universidad Popular del Cesar, resalta la importancia de establecer estrategias de monitoreo y control para mitigar la exposición a estos contaminantes y minimizar su impacto a la sociedad y al ambiente.

Se realizó la caracterización de dos puntos críticos para la concentración de material particulado PM 10 y PM 2.5 en la universidad Popular del Cesar Sede Sabanas los cuales fueron el parqueadero de motocicletas y la caldera de procesos agroindustriales. Estos fueron escogidos debido al alto índice de transpirabilidad, puesto que el parqueadero solo posee una entrada y salida de las motocicletas es un buen lugar para realizar este tipo de mediciones, y la caldera de procesos agroindustriales ya que este cuenta con una caldera de vapor y además se encuentra cerca de dicho parqueadero.

La caracterización de los puntos críticos de PM 10 y PM 2.5 en la Universidad Popular del Cesar Sede Sabanas evidenció que las mayores concentraciones se localizan en la entrada del parqueadero de motocicletas siendo estas fuentes móviles, mientras que en la caldera de procesos agroindustriales no presentó variaciones significativas con respecto a los contaminantes criterios. El prototipo de medición diseñado permitió correlacionar que los picos de mayor valor están relacionados con las variables meteorológicas de temperatura y humedad y que estos suceden en el lapso comprendido entre las 12:00 pm y la 1:00 pm lo cual coincide con los ingresos vehiculares y desplazamiento de los estudiantes.



8. RECOMENDACIONES

Con base a los resultados que se obtuvieron en este trabajo que se basó en el análisis del material particulado en la entrada del parqueadero de motocicletas y la caldera de procesos agroindustriales, se recomienda al personal que realiza el ingreso de este tipo de vehículos el uso de tapabocas N95 para evitar complicaciones respiratorias ya que se encuentran expuestos a este tipo de partículas sin ningún tipo de protección, asimismo instalar respiraderos en los laboratorios para la fácil expulsión del PM con su respectivo sistema de filtración.

Para una toma de lectura mas exacta, se recomienda instalar el dispositivo en el mismo sitio durante todas las mediciones y en el mismo lapso de tiempo si se realiza por más de dos días, para que las lecturas no sufran ningún tipo de variación y el análisis sea más correcto.

Para mejorar el conocimiento acerca de otros posibles focos de contaminación en la universidad, se recomienda realizar diferentes estudios que abarquen otras zonas concurridas de la universidad como lo es las entradas peatonales, el parque La Vallenata, la sede de Bellas Artes y la sede Hurtado.



BIBLIOGRAFIA

- [1] Castro, California (2021). *Evaluación de la concentración de material particulado (PM10 y PM2.5) y su relación con enfermedades respiratorias en Quito, Ecuador* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE. <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b78c7d0e-fe77-47c6-92b7-199d6c18a175/content>
- [2] Mora Solís, AS (2022). *Evaluación de la contaminación por material particulado (PM10 y PM2.5) en zonas urbanas y su impacto en la calidad del aire en Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]. Centro de Investigación y Análisis. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MORA%20SOLIS%20ANDRES%20STEVEN.pdf>
- [3] Gao, HO y He, H. (2020). Exposición a partículas en suspensión en una intersección y cruce de peatones de tráfico urbano densamente poblado. arXiv preprint arXiv:2011.09286. ARXIV.ORG
- [4] Wang, T., Wang, X., Guo, X. y Zhang, H. (2023). Regionalización de PM2.5 de China mediante un método robusto de agrupamiento funcional espacio-temporal. Preimpresión de arXiv arXiv:2311.02618. ARXIV.ORG
- [5] Zona Rubio, DC, Páez Mora, CD, Ramírez Arenas, NS, & Soler Guatibonza, AM (2022). Efectos de la contaminación ambiental sobre la salud de la población mediante una revisión narrativa. *Revista Colombiana de Neumología*, 34(2), 47-58. REVISTAS.ASONEUMOCITO.ORG
- [6] Alarcón, C., & Poveda, S. (2021). *Control de material particulado en espacios cerrados (laboratorio de suelos)*. Universidad Antonio Nariño. Recuperado de https://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/4916/1/2021_1_PG_Alarcon%2C%20y%20Poveda%2C%20S..pdf
- [7] Huang, C.-H., He, J., Austin, E., Seto, E., & Novosselov, I. (2021). *Assessing the value of complex refractive index and particle density for calibration of low-cost particle matter sensor for size-resolved particle count and PM2.5 measurements*. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2106.12889>
- [8] Sachetti, L. L. S., Cussuol, E. B., Nogueira, J. M. S., & Mota, V. F. S. (2021). *pmSensing: A participatory sensing network for predictive monitoring of particulate matter*. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2111.11441>

- [9] CALIDAD DEL AIRE Y SU RELACIÓN CON ENFERMEDADES PULMONARES. (s/f). Edu.co. Recuperado el 20 de octubre de 2022, de <https://repository.ces.edu.co/bitstream/handle/10946/5804/Calidad%20Aire%20Enfermedades.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [10] Us EPA, O. A. (2018). Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente. <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>
- [11] Caroca, N., & Andrés, R. (2018). Evaluación del efecto de material particulado en suspensión orientado a la operación mina a partir de la implementación de una red de monitoreo ambiental en Minera Escondida. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/169965>
- [12] Ambiental, I., Rafael, J., & Bautista, R. (n.d.). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA. Edu.Ec. Retrieved October 20, 2022, from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17086/1/UPS-ST004034.pdf>
- [13] (N.d.). Edu.Pe. Retrieved October 20, 2022, from https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/2893/Tesis_Evaluaci%C3%B3n_Part%C3%ADculas_Temperaturas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [14] (N.d.). Edu.Co. Retrieved October 20, 2022, from <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/6017/Estimaci%C3%B3n%20de%20fuentes%20de%20material%20particulado%20%20atmosf%C3%A9rico%20%28PM10%20y%20PM2.5%29%20en%20la%20ciudad%20de%20Barranquilla%2C%20%20Colombia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [15] (N.d.). Edu.Co. Retrieved October 20, 2022, from https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/3282/Tarazona_Rinc%C3%B3n_Paula_Andrea_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [16] CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO. (n.d.). Core.ac.uk. Retrieved October 20, 2022, from <https://core.ac.uk/download/pdf/199463977.pdf>
- [17] GENERALIDADES DEL OZONO - IDEAM. (s/f). Gov.co. Recuperado el 25 de abril de 2023, de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-del-ozono>
- [18] Induanalisis, Laboratorio, monitoreo, & Bucaramanga-Col, C. y. E. (s/f). Dióxido de azufre (SO₂). Induanalisis, Laboratorio, monitoreo, consultoría y equipo. Bucaramanga - Col.

Recuperado el 25 de abril de 2023, de
https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/_dioxido_de_azufre_so2_22

- [19] Díaz-López, L. F., Hospital Psiquiátrico Fray Bernardino Álvarez., Haro-García, L. C., Juárez-Pérez, C. A., Aguilar-Madrid, G., Departamento de Salud Pública, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México. Academia de Salud Comunitaria, Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Casa Libertad, Iztapalapa DF, México., & Unidad de Investigación en Salud en el Trabajo, Centro Médico Nacional Siglo XXI, Instituto Mexicano del Seguro Social, México. (2015). Alteraciones neuropsicológicas por exposición crónica a concentraciones bajas de monóxido de carbono en trabajadores de autopista de peaje de México. *Salud mental (Mexico City, Mexico)*, 38(5), 353–359. <https://doi.org/10.17711/sm.0185-3325.2015.048>
- [20] Salud, M. (s/f). Dióxido de nitrógeno y Salud. *Madridsalud.es*. Recuperado el 25 de abril de 2023, de <https://madridsalud.es/dioxido-de-nitrogeno-y-salud/>



ANEXOS

En el siguiente link se encuentra la base de datos de todas las mediciones realizadas en la Universidad Popular del Cesar Sede Sabanas, en el último trimestre de 2024. El análisis del material particulado se realizó mediante un prototipo desarrollado en esta tesis, titulado “Sistema de medición de las inmisiones del material particulado PM10 y PM2.5 bajo un ambiente IoT en la sede Sabanas de la Universidad Popular del Cesar”

[https://drive.google.com/drive/folders/1MayjsnZ-CFt7i415QMUBi66922Kq6CP-
?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1MayjsnZ-CFt7i415QMUBi66922Kq6CP-?usp=sharing)

