

USO DEL CARBÓN ACTIVADO EN LA PURIFICACIÓN DEL AIRE EN AMBIENTES URBANOS DE JULIACA

USO DEL CARBÓN ACTIVADO EN LA PURIFICACIÓN DEL AIRE EN AMBIENTES URBANOS DE JULIACA

Problema

La ciudad de Juliaca enfrenta altos niveles de contaminación del aire debido al rápido crecimiento urbano, la expansión del parque automotor y la quema de residuos sólidos. Este fenómeno ha originado una crisis ambiental que impacta directamente en la salud pública, especialmente en los sectores más vulnerables de la población centricas Centro comercial II, tupac amaru, ladrilleras Gonzalez, 2021.

La contaminación del aire en Juliaca es provocada principalmente por las actividades urbanas no planificadas, que generan altos niveles de emisiones de partículas contaminantes, como el material particulado PM2.5 y PM10 y gases como el monóxido de carbono Lopez & Perez, 2019. La quema de residuos sólidos en áreas urbanas también contribuye significativamente a esta problemática, agravando la calidad del aire y afectando el bienestar de los habitantes Ministerio de Salud del Peru, 2020.

La exposición constante a estos contaminantes aumenta el riesgo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares en la población, especialmente en niños, ancianos y personas con condiciones preexistentes Ramirez, 2021. La gestión inadecuada de los residuos sólidos y la falta de infraestructura adecuada para su disposición final son factores que intensifican esta problemática Garcia, 2020.

1.1 Justificación

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más críticos en las ciudades intermedias de Perú, incluida Juliaca, donde el crecimiento urbano desordenado, la actividad vehicular y la quema de residuos contribuyen a niveles peligrosos de contaminación. Este problema no solo afecta la calidad del aire, sino que también tiene un impacto directo en la salud pública, especialmente entre las poblaciones más vulnerables, como niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias preexistentes Lopez & Perez, 2019; Ministerio de Salud del Peru, 2020.

El uso de tecnologías para mitigar la contaminación del aire es esencial, y el carbón activado ha mostrado ser una opción prometedora. Este material poroso tiene la capacidad de adsorber una variedad de contaminantes, incluyendo gases tóxicos como dióxido de azufre, monóxido de carbono y partículas en suspensión Gonzalez, 2021; Ramirez, 2021. A través del proceso de adsorción, el carbón activado captura estos contaminantes en su superficie, mejorando así la calidad del aire de manera eficiente y sostenible Hernandez, 2018.

Diversos estudios han evidenciado la efectividad del carbón activado en entornos urbanos, especialmente en áreas de alta contaminación. Según un estudio realizado por Iberia 2023, la implementación de sistemas de purificación con carbón activado en diversas ciudades ha mostrado una disminución significativa en la concentración de partículas contaminantes, mejorando la salud de los habitantes y reduciendo los costos asociados a enfermedades respiratorias. Además, la investigación de Mendoza et al. 2018 destacó la viabilidad del carbón activado como una solución rentable y accesible para la purificación del aire, especialmente en contextos urbanos con altos niveles de contaminación.

En Juliaca, donde los niveles de contaminación del aire continúan superando los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud OMS, el uso del carbón activado podría representar una solución efectiva para mitigar los efectos de la contaminación. La adopción de esta tecnología contribuiría no solo a la mejora de la calidad del aire, sino también a la protección de la salud pública, al reducir los riesgos asociados con enfermedades respiratorias y cardiovasculares causadas por los contaminantes atmosféricos Garcia, 2020.

1.2 Estado del Arte

La problemática de la contaminación atmosférica en ciudades urbanas como Juliaca ha sido abordada por diversas investigaciones científicas. Un eje importante en estas investigaciones es el análisis de los contaminantes comunes en el aire urbano: partículas en suspensión PM2.5 y PM10, dióxido de nitrógeno NO₂, monóxido de carbono CO, y dióxido de azufre SO₂. Según la Environmental Protection Agency EPA, 2018, estos compuestos están directamente relacionados con afecciones respiratorias y cardiovasculares.

El carbón activado ha sido ampliamente documentado por su capacidad de adsorción de estos contaminantes. Estudios como el de Journal 2018 y Chemosphere 2021 indican que la eficacia del carbón activado depende de factores como la temperatura, la humedad relativa y el tiempo de contacto con los gases. Además, la investigación de Evaluación Comparativa del Ciclo de Vida 2022 demuestra que el uso del carbón activado puede ser ambientalmente sostenible si se considera su reciclaje y reutilización.

En el caso específico de Juliaca, informes del MINAM 2017 y datos más recientes del observatorio Labs 2025 señalan que los niveles de PM_{2.5} y PM₁₀ superan los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normativa nacional. Asimismo, el estudio de ResearchGate 2022 proporciona evidencia del vínculo entre la exposición prolongada a estos contaminantes y el aumento en la incidencia de enfermedades respiratorias, especialmente en poblaciones vulnerables como niños y adultos mayores.

Aunque existe una sólida base teórica sobre los beneficios del carbón activado en contextos urbanos, el vacío de conocimiento radica en la escasez de estudios aplicados al contexto andino y urbano específico de Juliaca. Esta investigación busca llenar ese vacío al evaluar empíricamente la efectividad del carbón activado en condiciones ambientales locales, considerando su impacto en la salud pública, la sostenibilidad del sistema y la percepción de la comunidad sobre su implementación. Investigaciones recientes como las de Environmental Science & Technology 2020 y Journal of Hazardous Materials 2019 destacan que el carbón activado no solo es eficaz para la adsorción de PM_{2.5} y gases tóxicos como NO₂ y SO₂, sino que también puede ser modificado químicamente para mejorar su capacidad de captura de compuestos orgánicos volátiles COVs, ampliando su aplicabilidad en entornos urbanos con alta carga contaminante. Además, estudios de Atmospheric Pollution Research 2021 sugieren que la combinación de carbón activado con otros materiales adsorbentes, como zeolitas o biocarbones, podría optimizar su desempeño en ciudades de altura como Juliaca, donde las condiciones atmosféricas particulares (presión reducida, variación térmica) influyen en la eficiencia del proceso de adsorción. Por ello, la presente investigación no solo aborda la eficacia técnica del carbón activado, sino que también analiza su viabilidad económica, social y ambiental en función de su posible implementación a gran escala, contribuyendo a la construcción de soluciones sostenibles e integrales frente a la creciente problemática de la contaminación del aire en zonas urbanas altoandinas Atmospheric Pollution Research 2021.

1.3 Objetivos

Evaluar la efectividad del uso del carbón activado como tecnología de purificación del aire en ambientes urbanos de Juliaca.

1.3.1 Objetivos específicos

- Identificar los principales contaminantes del aire presentes en Juliaca (PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, CO, SO₂) utilizando sensores caseros, instalados en soportes simples en puntos estratégicos de la ciudad.
- Determinar la capacidad de adsorción del carbón activado bajo condiciones ambientales locales mediante un purificador casero con filtros de carbón activado, midiendo contaminantes con el sensor portátil y después del paso del aire.
- Comparar los niveles de contaminación antes y después de la implementación del carbón activado, registrando datos con el sensor manual.

1.4 Hipótesis

El uso del carbón activado como tecnología de purificación del aire en Juliaca reducirá de manera significativa los niveles de contaminantes atmosféricos, como las partículas finas PM_{2.5} y PM₁₀, los óxidos de nitrógeno NO₂, monóxido de carbono CO y dióxido de azufre SO₂, lo que resultará en una mejora notable de la calidad del aire y una reducción de los riesgos para la salud pública (Iberia, 2023; Mendoza et al., 2018).

*** 1.5 Variables* VARIABLES INDEPENDIENTES*:**

• **Emisiones vehiculares**

• **Crecimiento urbano desorganizado**

• **Ausencia de monitoreo ambiental* VARIABLE DEPENDIENTE:**

Contaminación del aire provocada por las emisiones vehiculares en la ciudad de Juliaca como factor determinante en el aumento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, por el impacto de los contaminantes generados por el tráfico vehicular, tales como PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂ y CO.

Metodología

2.1 Diseño Metodológico

El estudio aplicará un diseño longitudinal de tipo panel, con enfoque cuantitativo y explicativo. Según Souza Julian y Perez 2015, este diseño permite evaluar el efecto de una intervención a lo largo del tiempo en un mismo grupo. La investigación no aleatoriza las zonas intervenidas, pero realiza mediciones antes y después de aplicar el carbón activado, lo cual permite observar su impacto.

2.2 Diseño muestral

Población: habitantes de zonas urbanas de Juliaca con alta contaminación, centro comercial II, Mercado Tupac Amaru, salida Arequipa Ladrilleras

Muestra: tres zonas urbanas con niveles críticos de contaminación, centro comercial II, Mercado Tupac Amaru, salida Arequipa Ladrilleras

Muestreo: no probabilístico, por conveniencia.

Tamaño muestral: se determinará según disponibilidad de sensores y acceso a registros de salud locales.

Unidad de análisis: niveles de contaminantes en aire, percepción ciudadana e indicadores de salud.

2.3 Técnicas de Recolección de Datos

- **Monitoreo continuo de calidad del aire usando sensores para PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, CO y SO₂.**

Paso 1: Elaboración de un módulo casero de monitoreo ambiental.

Paso 2: Instalacion de los sensores caseros a una altura aproximada de 1.5 metros para representar la altura de respiracion humana.

Programacion sencilla del modulo casero.

Recoleccion manual diaria de datos.

Registro y organizacion de los datos obtenidos

• **Encuestas estructuradas y entrevistas para medir percepcion de calidad del aire y afecciones respiratorias.**

PASO 1: Diseño de encuestas sencillas con escala de percepcion sobre calidad de aire, problemas respiratorios y conocimiento sobre el uso del carbon activado.

PASO 2: Seleccion de la muestra minimo 30 personas por zona.

PASO 3: Aplicacion directa de encuestas de manera presencial, usando papel o Google Forms.

PASO 4: Realizacion de entrevistas semiestructuradas a pobladores clave.

PASO 5: Analisis y transcripcion de datos.

• **Revision de registros medicos locales para evaluar frecuencia de enfermedades respiratorias.**

PASO 1: Solicitud formal de acceso a reportes medicos en centros de salud.

PASO 2: Revision de registros de casos respiratorios.

PASO 3: Anotacion de casos por zona, edad y mes.

PASO 4: Organizacion de datos medicos en Excel.

PASO 5: Comparacion con resultados de calidad de aire.

2.4 Tecnicas Estadisticas para el Procesamiento de la Informacion

Algunas opciones comunes son SPSS, Amos, Statistica, R, webQDA y Excel.

3 Referencias Bibliograficas

Chemosphere. (2021). Factors affecting activated carbon adsorption. *Chemosphere*, 270, 132536.

Environmental Protection Agency (EPA). (2018). Health effects of air pollution. EPA Reports.

Evaluacion comparativa del ciclo de vida de la produccion de carbon activado a partir de diferentes precursores. (2022). ResearchGate.

Hernandez Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). Metodologia de la investigacion: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Journal of Environmental Management. (2018). Efficiency of activated carbon in urban air pollution control: A review. *Journal of Environmental Management*, 223, 59–71.

Labs Peru. (2025). Concentraciones de PM2.5 y PM10 en ciudades andinas. Observatorio Nacional de Calidad del Aire.

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). Estandares de calidad ambiental para aire. Gobierno del Peru.

Pollution. (2016). Environmental factors influencing urban air quality in high-altitude cities. *Environmental Pollution*, 218, 1189–1201.

ResearchGate. (2022). Air pollution exposure and public health outcomes in Peruvian urban zones. ResearchGate Publications.

Andia Huillca, A. (2021). Informe de monitoreo de calidad del aire en Juliaca, Peru. Universidad Peruana Union. Recuperado de es.scribd.com

Chuquija-Flores, I. C. (2021). Contaminacion del aire producido por el parque automotor de vehiculos menores de la categoria L5 y su incidencia en el impacto vial en la ciudad de Juliaca. Universidad Nacional de Juliaca. Recuperado de alicia.concytec.gob.pe

National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS). (s.f.). La contaminacion del aire y su salud. Recuperado de niehs.nih.gov

Organizacion Mundial de la Salud (OMS). (2025, 12 de abril). La contaminacion se asocia con el asma, fallos cardiacos y partos prematuros. Cinco Dias. Recuperado de cincodias.elpais.com

Carbotecnia. (s.f.). ¿Que es el carbon activado y para que sirve? Recuperado de carbotecnia.info

CPL Activated Carbons Iberia. (2023, 1 de febrero). La eficacia de los filtros de carbon activado. Recuperado de cpl-iberia.com

Wikipedia. (2025, 8 de junio). Carbon activado. Recuperado de es.wikipedia.org

Gutierrez Arapa, R. (2023). Determinacion de material particulado en el aire en la ciudad de Juliaca. Universidad Nacional de Juliaca. Recuperado de

Organizacion Mundial de la Salud (OMS). (2023, octubre 26). Contaminacion en el aire de ciudades peruanas supera los limites recomendados por la OMS. Ojo Publico. Recuperado de <https://ojo-publico.com/derechos-humanos/salud/contaminacion-el-aire-ciudades-peruanas-supera-limites-la-oms>

Perez Abarca, J. (2018). Contaminacion del aire por emisiones de CO2 de los vehiculos automotores en la ciudad de Juliaca. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9726223.pdf>

Carbotecnia. (s.f.). Carbon activado en Peru. Recuperado de <https://www.carbotecnia.info/carbon-activado-en-peru/>

Cocarbon. (s.f.). Compañía de Carbono Activado del Perú. Recuperado de <https://www.cocarbon.pe/>

Purocarbon. (2024, octubre 12). Proveedor de Carbono Activado en Perú. Recuperado de <https://activecarbon.es/blog/proveedor-de-carbono-activado-en-peru/>

Mamani, A. (2017). La contaminación en nuestra ciudad de Juliaca y cómo evitarla. Recuperado de <https://contaminacionjuliaca2017.blogspot.com/>

Pérez Abarca, J. (2018). Contaminación del aire en la ciudad de Juliaca

Clasificación del trabajo de investigación

Artículo de revisión narrativa

Autor primario: QUISPE APAZA, JOSE WALTER