

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
Escuela Profesional de Ingeniería y Arquitectura



Una Institución Adventista

Aplicación de Carbón Activado a partir de Cáscaras de Piña y Naranja (Ananas comosus y Citrus sinensis) para la Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales de Lavaderos de Juliaca

Por:

Abel Tapara Quispe

Asesor:

Jorge Juvenal Bravo Hualla

Juliaca, junio de 2025

1. Planteamiento del Problema

En la ciudad de Juliaca hay muchos lavaderos informales de autos que generan aguas sucias llenas de sustancias peligrosas, como metales pesados (plomo, cromo y zinc), aceites y grasas. Estos contaminantes son muy dañinos para la salud y el medio ambiente. Como muchos de estos lavaderos no tienen un sistema adecuado para limpiar estas aguas, terminan arrojándolas en pozas artesanales o canales cercanos. Esto pasa especialmente en la zona de la salida hacia Cusco, por la segunda circunvalación, donde hay una gran cantidad de lavaderos. Las aguas contaminadas van al suelo y a las aguas subterráneas, provocando una fuerte contaminación. -A pesar del problema, no se ha estudiado bien si el carbón activado puede ayudar a limpiar estas aguas sucias de forma efectiva. Por eso, es importante investigar esta opción, ya que podría ser una solución práctica, económica y útil para reducir la contaminación. Así se podría proteger mejor el medio ambiente y la salud de las personas que viven en Juliaca.

1.1 Justificación

Esta investigación se justifica por la urgente necesidad de abordar la contaminación por metales pesados en las aguas residuales de los lavaderos de autos informales en Juliaca. Estos establecimientos, al operar sin control, vierten directamente al ambiente contaminantes como plomo, cobre y zinc provenientes del desgaste vehicular y productos de limpieza (SEAS, 2015; African Pegmatite, n.d.). Estos metales, persistentes y bioacumulables, representan un serio riesgo para la salud pública y los ecosistemas, ya que pueden causar daños neurológicos y renales (SciELO Bolivia, n.d.; Medwave, 2022). La aplicación de carbón activado ofrece una solución de tratamiento eficaz y sostenible (African Pegmatite, n.d.), especialmente si se explora su producción a partir de biomasa local, lo que podría reducir costos y promover una economía circular (Universidad Nacional de San Martín, 2024). Este estudio no solo busca validar una tecnología accesible para un sector informal en Juliaca, sino que también generará datos cruciales para las autoridades locales, permitiéndoles desarrollar políticas más efectivas para el manejo de estas aguas residuales y, en última instancia, contribuir a la mejora de la calidad ambiental y la salud de la población.

1.2 Estado del Arte

El parque automotor es una fuente significativa de metales pesados en el ambiente, y su impacto va más allá de las emisiones directas del tubo de escape. Una contribución importante proviene del desgaste de componentes: las pastillas y discos de freno liberan cobre, zinc, plomo, cromo y níquel, mientras que la abrasión de los neumáticos añade zinc (SEAS, 2015). La corrosión de la carrocería también aporta metales como hierro y zinc (African Pegmatite, n.d.). Adicionalmente, las baterías de plomo-ácido son una fuente considerable de plomo si no se gestionan adecuadamente, y ciertos aditivos en combustibles y lubricantes también contienen metales (RecoEnergy, n.d.). Una vez liberados, estos metales se acumulan en el polvo de las calles y los suelos, siendo posteriormente arrastrados por las lluvias hacia los cuerpos de agua, donde su persistencia y capacidad de bioacumulación en la cadena alimentaria representan un riesgo ambiental y para la salud (Medwave, 2022).

En el contexto de Perú, el parque automotor es una de las principales fuentes de contaminación atmosférica, siendo responsable de hasta el 70% de la contaminación en el país (Andina, 2012). Para ciudades como Juliaca, la acumulación de estos contaminantes en el polvo urbano y en el suelo es una preocupación directa para la población, especialmente para los niños, quienes son más vulnerables a la exposición (SciELO Bolivia, n.d.). La exposición crónica a metales pesados, incluso en bajas concentraciones, puede generar una serie de problemas de salud graves, incluyendo daños neurológicos, renales y respiratorios (Medwave, 2022; SciELO Bolivia, n.d.). Por ello, la gestión de estas fuentes de contaminación y el tratamiento de las aguas residuales que las contienen son cruciales para la protección del ambiente y la salud pública.

- Metales pesados

Los metales pesados son elementos como el plomo (Pb), cromo (Cr), zinc (Zn) y cobre (Cu), que pueden encontrarse en bajas concentraciones en la naturaleza, pero se vuelven peligrosos cuando están en exceso. Estos metales no se degradan con el tiempo, se acumulan en el cuerpo humano y en los seres vivos, causando problemas como daños neurológicos, enfermedades del hígado o de los riñones (Poma y Valdez, 2017).

En los lavaderos de carros, los metales pesados provienen del desgaste de piezas metálicas, aceites usados, frenos, llantas y suciedad que se desprende de los vehículos. Si estas aguas no se tratan, los metales llegan a los ríos o se filtran al suelo, afectando la calidad del agua potable y la fertilidad del terreno.

- Contaminación del agua y del suelo

La contaminación del agua ocurre cuando estas sustancias llegan a ríos, canales o lagunas. Esto puede afectar a las personas que usan esa agua para el consumo, el riego o la recreación. Por otro lado, cuando estas aguas se infiltran al suelo, alteran sus propiedades físicas y químicas, reducen su capacidad de producir alimentos y dañan la vida microbiana necesaria para su equilibrio (Torres y Aguilar, 2016).

- Carbón activado

El carbón activado es un material de origen vegetal o mineral que, mediante un proceso especial, se convierte en un material muy poroso. Gracias a su gran superficie, puede atraer y retener diferentes tipos de contaminantes, como colorantes, sustancias tóxicas y metales pesados. Por esta razón, se ha utilizado en varios tratamientos de agua como una alternativa económica y efectiva (Ramos y Castillo, 2018).

Diversos estudios han demostrado que el carbón activado puede eliminar hasta un 80% o más de ciertos metales pesados presentes en aguas contaminadas, dependiendo del tipo de carbón, el tiempo de contacto y las condiciones del tratamiento (Quispe et al., 2020).

1.3 Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la eficiencia del carbón activado en la remoción de metales pesados presentes en las aguas residuales de lavaderos de autos informales en Juliaca.

Objetivos Específicos

- Caracterizar físico-químicamente las aguas residuales de los lavaderos de autos informales en Juliaca, identificando la concentración de los principales metales pesados.
- Determinar la capacidad de adsorción del carbón activado para los metales pesados encontrados en las aguas residuales de los lavaderos de autos informales de Juliaca, bajo diferentes condiciones de operación (por ejemplo, dosis de carbón, tiempo de contacto, pH).
- Proponer un sistema de tratamiento preliminar y de adsorción con carbón activado a escala de laboratorio, que sea adecuado para la remoción de metales pesados en las aguas residuales de los lavaderos de autos informales en Juliaca.

1.4 Hipótesis

El uso de carbón activado obtenido a partir de cáscaras de piña (*Ananas comosus*) y naranja (*Citrus sinensis*) tiene la capacidad de reducir significativamente la concentración de metales pesados como plomo (Pb), cromo (Cr) y zinc (Zn) en las aguas residuales generadas por lavaderos de autos informales en la ciudad de Juliaca. Esta hipótesis se sustenta en el principio de adsorción de compuestos metálicos sobre superficies porosas, ampliamente documentado en estudios previos que han demostrado la eficacia del carbón activado de origen vegetal para la remoción de contaminantes metálicos del agua (El-Shafey, 2007; Babel & Kurniawan, 2003). Las cáscaras de frutas como la piña y la naranja contienen altos niveles de celulosa, hemicelulosa y lignina, componentes que permiten la activación y formación de estructuras porosas ideales para la adsorción de metales pesados (Mohan & Pittman, 2006).

Variables

Variables de la Investigación

En esta investigación, se identificarán claramente las variables independientes y dependientes para establecer relaciones causales y evaluar el impacto del tratamiento propuesto.

Variables Independientes

I. Estado de la carrocería del automóvil

- Presencia de óxido, pintura deteriorada, partes sueltas o dañadas.

II. Frecuencia y tipo de lavado de baterías

- Uso de productos químicos para limpieza.
- Manipulación de ácidos y metales pesados.

III. Lavado de partes con aceites, grasas y combustibles

- Cantidad y tipo de aceites/grasas presentes en las partes.
- Uso de solventes y detergentes.

Variables Dependientes

- Nivel de contaminación del agua (presencia y concentración de metales pesados, aceites, grasas).
- Calidad del agua que fluye hacia canales o cuerpos de agua.

2. Metodología

Metodología de la Investigación

La presente investigación adoptará un enfoque cuantitativo, buscando medir y comparar la eficiencia del carbón activado en la remoción de metales pesados. El estudio será de tipo experimental, dado que se manipularán variables independientes (tipo y dosis de carbón activado, tiempo de contacto y pH) para observar su efecto en las variables dependientes (concentración de metales pesados removidos y parámetros físico-químicos del agua tratada). Además, tendrá un alcance explicativo, buscando establecer relaciones de causa y efecto entre el tratamiento con carbón activado y la disminución de metales pesados para proponer una solución viable a la problemática ambiental.

Diseño Muestral y Recolección de Datos

El diseño muestral se centrará en la recolección de muestras representativas de aguas residuales de lavaderos de autos informales en Juliaca, Perú.

Universo de Estudio: Todos los lavaderos de autos informales que operan en la ciudad de Juliaca.

Unidad de Muestreo: Las aguas residuales generadas por cada lavadero de autos informal.

Tipo de Muestreo: Se empleará un muestreo no probabilístico por conveniencia. Dada la naturaleza informal de los establecimientos y la dificultad para obtener un marco muestral completo, se seleccionarán lavaderos de autos que sean accesibles y estén dispuestos a colaborar con la investigación. Se buscará incluir una diversidad de lavaderos en diferentes zonas de la ciudad para capturar la variabilidad de los efluentes.

Recolección de Muestras (en un solo día): Para optimizar la recolección de campo, se tomará una muestra compuesta global de aguas residuales. Esta muestra se recolectará en un solo día, durante un período de alta actividad de lavado (por ejemplo, media jornada), visitando al menos 5 de autos informales ubicados estratégicamente en Juliaca. En cada lavadero, se obtendrán alícuotas que se mezclarán en un recipiente común, previamente homogeneizado, para conformar una única muestra compuesta global representativa de las condiciones típicas de descarga en la ciudad. Las muestras serán

recolectadas en frascos estériles y debidamente etiquetados, y transportadas de inmediato en neveras portátiles a una temperatura de 4°C al laboratorio para su procesamiento y análisis, minimizando cualquier alteración en su composición.

Técnicas de Caracterización y Tratamiento Experimental

Una vez en el laboratorio, la muestra compuesta global será caracterizada y sometida a pruebas experimentales para la remoción de metales pesados.

Fase 1: Caracterización Inicial de las Aguas Residuales

Para caracterizar el efluente representativo de los lavaderos de autos informales en Juliaca, se realizarán los siguientes análisis sobre la muestra compuesta global:

Metales Pesados: Se cuantificarán las concentraciones de los metales pesados clave como plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn), cadmio (Cd) y níquel (Ni), utilizando Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA) o Espectroscopia de Emisión Atómica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES), métodos de alta precisión reconocidos.

Parámetros Físico-Químicos Generales: Se medirán parámetros esenciales para el tratamiento, como pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales (SST), aceites y grasas, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5). Estos análisis se realizarán siguiendo normativas peruanas (Norma Técnica Peruana) o métodos estándar internacionales (APHA), lo cual es crucial para comprender la matriz del agua y diseñar el pre-tratamiento.

Fase 2: Optimización del Pre-tratamiento

Considerando la presencia de sólidos, aceites y grasas en las aguas de lavaderos informales, se diseñará una etapa de pre-tratamiento para mejorar la eficiencia del carbón activado:

Pruebas Preliminares: Se realizarán pruebas de laboratorio para identificar el método de pre-tratamiento más adecuado. Esto podría incluir la sedimentación simple, flotación (por ejemplo, con aire disuelto a pequeña escala), o coagulación-floculación (utilizando coagulantes comunes como sulfato de aluminio o cloruro férrico, optimizando dosis mediante un Test de Jarras inicial sin carbón activado). El objetivo es reducir significativamente la carga de sólidos suspendidos y aceites y grasas antes de la adsorción. Los parámetros a monitorear en esta fase serán SST y Aceites y Grasas.

Fase 3: Evaluación del Tratamiento con Carbón Activado mediante Test de Jarras

Una vez optimizado el pre-tratamiento, el efluente pre-tratado será utilizado en el Test de Jarras para evaluar el proceso de adsorción.

Diseño Experimental (Test de Jarras): Se realizarán pruebas en la unidad de Test de Jarras, utilizando el agua residual previamente pre-tratada. Cada jarra contendrá un volumen idéntico de esta muestra homogénea.

Manipulación de Variables Independientes: Se variarán sistemáticamente las siguientes variables en cada jarra:

Tipo de Carbón Activado: Se evaluará al menos un tipo de carbón activado comercial de referencia y, si es viable, un tipo de carbón activado producido a partir de biomasa local (por ejemplo, cáscara de naranja, si la disponibilidad y capacidad de síntesis lo permiten).

Dosis de Carbón Activado: Se probarán diferentes dosis de carbón activado (ej. 0.5 g/L, 1.0 g/L, 1.5 g/L, etc.) en un rango que permita identificar la dosis óptima para la remoción de metales pesados.

Tiempo de Contacto: Se establecerán diferentes tiempos de agitación y contacto (ej. 30 min, 60 min, 120 min, 240 min) para determinar el tiempo óptimo de adsorción, observando la cinética de remoción.

pH del Agua: Se ajustará el pH de las muestras en cada jarra (ej. pH 5, pH 7, pH 9), ya que el pH influye significativamente en la adsorción de iones metálicos.

Control de Variables: La temperatura de las pruebas se mantendrá constante (ej. temperatura ambiente del laboratorio) y la velocidad de agitación en las jarras se controlará para asegurar la homogeneización y el contacto uniforme.

Análisis del Efluente Tratado: Después de cada prueba en el Test de Jarras, se tomarán alícuotas de las muestras tratadas. Estas serán filtradas para separar el carbón activado y luego se analizarán en laboratorio (mediante EAA o ICP-OES) para determinar la concentración residual de los metales pesados. Esto permitirá calcular la eficiencia de remoción. Adicionalmente, se registrarán los parámetros físico-químicos finales del agua tratada (pH, turbidez, SST) para evaluar su calidad general y compararla con los Límites Máximos Permisibles (LMP) peruanos para descarga de efluentes no domésticos.

Análisis y Procesamiento de Datos: Los datos obtenidos de los análisis de laboratorio se registrarán y someterán a análisis estadísticos (ej. Análisis de Varianza - ANOVA, análisis de regresión, optimización multivariada) para determinar la significancia de las variables independientes sobre la remoción de metales pesados y para la optimización de las condiciones de operación del sistema de tratamiento propuesto.

Diagrama de flujo



3. Referencias Bibliográficas

- Robles Lora, M. A., Vilchez Moscol, . J., Ecurra Lagos, . J. C., & Diaz Diaz, N. del P. (2025). Carbón activado de la cáscara de plátano en la adsorción de metales pesados. *Revista Alfa*, 9(25), 153–163. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.338>
- African Pegmatite. (n.d.). *Removal of Heavy Metals From Water Using Activated Carbon: The Science of Activated Carbon as an Adsorbent*. Recuperado de <https://www.pegmatite.com/activated-carbon-for-water-treatment/>
- Andina. (2012, 17 de marzo). *Parque automotor ocasiona el 70% de la contaminación en el Perú*. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-parque-automotor-ocasiona-70-de-contaminacion-el-peru-404515.aspx>
- Medwave. (2022). *Remoción de metales pesados de agua residual del lavado de autos mediante adsorción en piedra caliza, carbón activado y turba: determinación de isothermas de adsorción y efecto de la matriz de contaminantes*. Medwave, 22(S1), eCI91. Recuperado de <https://www.medwave.cl/resumenescongreso/ci2022/desarrollosostenibilidad/8619.html>
- SciELO Bolivia. (n.d.). *CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS*. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-74332009000100013
- SEAS. (2015, 26 de agosto). *Principales elementos contaminantes de vehículos*. Blog SEAS. Recuperado de <https://www.seas.es/blog/energias-renovables/principales-elementos-contaminantes-de-los-vehiculos/>
- Universidad Nacional de San Martín. (2024). *Tratamiento de aceites y grasas en aguas residuales de lavadero de vehículos utilizando carbón activado de cáscara de naranja*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional. Recuperado de <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/575>
- Rodas, M. M. Z., & Luna, M. S. S. A. C. Tratamiento de aceites y grasas de aguas residuales de un lavadero, mediante carbón activado de cáscara de naranja. <https://repositorio.unsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/559bc85d-bf01-4cc1-90f0-1eab9954ee23/content>