

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2025,  
Volumen 9, Número 1.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i1](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1)

**ADSORCIÓN DE METALES PESADOS Y  
MEJORAMIENTO DEL PH CON CARBÓN  
DE *Eucalyptus globulus* Y *Piptocoma discolor*  
EN AGUAS RESIDUALES DE LA  
AMAZONIA ECUATORIANA**

ADSORPTION OF HEAVY METALS AND PH IMPROVEMENT  
WITH CHARCOAL FROM *Eucalyptus globulus* AND *Piptocoma*  
DISCOLOR IN WASTEWATER FROM THE ECUADORIAN  
AMAZON

**Calvopiña Beltrán José Aníbal**  
Universidad Estatal Amazónica

**Rubén Darío Ledesma Acosta**  
Universidad Estatal Amazónica

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i1.16414](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16414)

## Adsorción de Metales Pesados y Mejoramiento del pH con Carbón de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor* en Aguas Residuales de la Amazonia ecuatoriana

Calvopiña Beltrán José Aníbal<sup>1</sup>

[ja.calvopinab@uea.edu.ec](mailto:ja.calvopinab@uea.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0007-2097-2359>

Universidad Estatal Amazónica

Rubén Darío Ledesma Acosta

[rledesma@uea.edu.ec](mailto:rledesma@uea.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-2086-0185>

Universidad Estatal Amazónica

### RESUMEN

Esta investigación se basa en la evaluación de la efectividad del carbón obtenido a partir de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y de Pigüe (*Piptocoma discolor*) para la remoción de metales pesados en aguas residuales del río Pambay, ubicado en la ciudad de Puyo, cantón y provincia de Pastaza, en Ecuador. El río Pambay es un recurso importante recreacional de la ciudad de Puyo, pero capta aguas residuales de actividades pecuarias, industriales y domésticas. En estos aspectos ambientales está la presencia de plomo (Pb), cadmio (Cd) y Arsénico (As). En la presente investigación, se implementó un sistema de biofiltración, utilizando concentraciones de 5 g/L, 10 g/L y 15 g/L de carbón de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor*, con el fin de evaluar su capacidad de adsorción. Las muestras se recolectaron en puntos estratégicos del río, y el análisis de los metales remanentes se realizó mediante Espectroscopía de Absorción Atómica (AAS). Los ensayos se efectuaron a condiciones estándar, con agitación constante durante 20 minutos para garantizar el equilibrio de adsorción. Los resultados obtenidos muestran que el Pigüe (*Piptocoma discolor*) es eficiente para la eliminación de la alcalinidad y de metales pesados; el carbón de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), muestra una mayor actividad para reducir las concentraciones de hierro. El trabajo representa el inicio de una base técnica para la utilización de estos bioadsorbentes en los tratamientos de efluentes, promoviendo una solución sostenible y económicamente accesible para la mitigación de la contaminación hídrica en la región amazónica.

**Palabras clave:** adsorción, metales pesados, biofiltro, carbón activado, tratamiento de aguas residuales

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [ja.calvopinab@uea.edu.ec](mailto:ja.calvopinab@uea.edu.ec)

# Adsorption of Heavy Metals and pH Improvement with charcoal from *Eucalyptus globulus* and *Piptocoma discolor* in Wastewater from the Ecuadorian Amazon

## ABSTRACT

This research is based on the evaluation of the effectiveness of charcoal obtained from *Eucalyptus globulus* and *Piptocoma discolor* for the removal of heavy metals in wastewater from the Pambay River, located in the city of Puyo, canton and province of Pastaza, in Ecuador. The Pambay River is an important recreational resource in the city of Puyo, but it captures wastewater from livestock, industrial and domestic activities. In these environmental aspects there is the presence of lead (Pb), cadmium (Cd) and Arsenic (As). In the present investigation, a biofiltration system was implemented, using concentrations of 5 g/L, 10 g/L and 15 g/L of charcoal from *Eucalyptus globulus* and *Piptocoma discolor*, in order to evaluate its adsorption capacity. The samples were collected at strategic points in the river, and the analysis of the remaining metals was carried out using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). The tests were carried out under standard conditions, with constant stirring for 20 minutes to guarantee adsorption equilibrium. The results obtained show that *Piptocoma discolor* is efficient for the elimination of alkalinity and heavy metals; *Eucalyptus* charcoal (*Eucalyptus globulus*) shows greater activity to reduce iron concentrations. The work represents the beginning of a technical basis for the use of these bioadsorbents in effluent treatments, promoting a sustainable and economically accessible solution for the mitigation of water pollution in the Amazon region.

**Keywords:** adsorption, heavy metals, biofilter, activated carbon, wastewater treatment

*Artículo recibido 06 enero 2025*

*Aceptado para publicación: 13 febrero 2025*



## INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua se erige como uno de los desafíos más apremiantes que enfrenta la ingeniería ambiental y la sostenibilidad a nivel global (Laura Parker 2024). Las actividades industriales, agrícolas y urbanas han elevado significativamente la concentración de contaminantes en cuerpos acuáticos, lo que repercute negativamente en la salud pública y en la integridad de los ecosistemas (Herrera-Morales, Cabezas-Andrade 2022). En diversas partes del mundo, en particular en áreas vulnerables como la Amazonía ecuatoriana, las fuentes de agua se ven amenazadas por la descarga de aguas residuales sin tratamiento, las cuales están cargadas de metales pesados en niveles importantes (Nancy Patricia Gutiérrez, Lucila Reyes Sarmiento, Diego Vera 2023). Entre estos contaminantes se encuentran el plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), todos ellos reconocidos por su toxicidad, su persistencia en el medio ambiente y su capacidad para acumularse en los organismos vivos (Sucoshañay Villalba, Evelio Gutiérrez Hernández, Rivero, Ledesma Acosta, Kuásquer, Elías, Valenzuela, 2015).

Un caso preocupante es en la subcuenca del río Pambay, ubicado en la región amazónica de Ecuador, que ha experimentado un notable deterioro a causa de la contaminación por metales pesados. Estos elementos no solo afectan la calidad del agua, sino que también alteran ciclos biogeoquímicos cruciales para la salud del ecosistema acuático, amenazando así la biodiversidad. Esto representa un peligro tanto para los seres humanos como para la fauna y flora que dependen de estos recursos hídricos. La exposición prolongada a tales contaminantes puede provocar una serie de efectos adversos en la salud humana, incluyendo problemas neurológicos, insuficiencia renal y afecciones cardiovasculares. A su vez, en los organismos acuáticos, puede dar lugar a mutaciones genéticas y trastornos reproductivos, lo que a su vez afecta la seguridad alimentaria y la economía local que se basa en la explotación de recursos acuáticos (Abril Saltos, Armas Chugcho, Chamorro, Salazar, Villalba, Rodríguez 2021).

Los biofiltros son sistemas avanzados de tratamiento de aguas que emplean un medio filtrante biológico para la remoción de contaminantes presentes en efluentes líquidos. Este proceso se fundamenta en la interacción entre el agua contaminada y un lecho de material adsorbente, donde se optimizan los mecanismos de adsorción y biodegradación, facilitando la captura de diversos contaminantes, incluidos metales pesados y compuestos orgánicos. El tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados necesita la adopción de tecnologías que sean tanto económicamente accesibles como



energéticamente eficientes. Las técnicas convencionales, como la precipitación química y la ósmosis inversa, aunque efectivas, suelen resultar costosas y complicadas de implementar en áreas rurales o remotas, debido a los elevados gastos de operación y mantenimiento.

La adsorción es un proceso en el cual los contaminantes disueltos en líquido se adhieren a la superficie de un sólido adsorbente. Uno de los adsorbentes más comunes es el carbón activado, que, gracias a su alta área superficial y su estructura porosa, posee una notable capacidad para atrapar y retener contaminantes, incluyendo los metales pesados. Este proceso físico-químico puede ser optimizado al alterar las propiedades del material adsorbente, tales como el tamaño de los poros y la inclusión de grupos funcionales que faciliten la interacción con los contaminantes presentes en el agua (Roberto Leyva Ramos 2017).

El objetivo de esta investigación es analizar y comparar la capacidad adsorbente del carbón activado derivado de Eucalipto y Pigüe en la purificación de aguas residuales del río Pambay mediante la implementación de un sistema de biofiltración. Este estudio busca determinar la eficacia de ambos materiales en la remoción de metales pesados y otros contaminantes, así como evaluar su impacto en la calidad fisicoquímica del agua tratada.

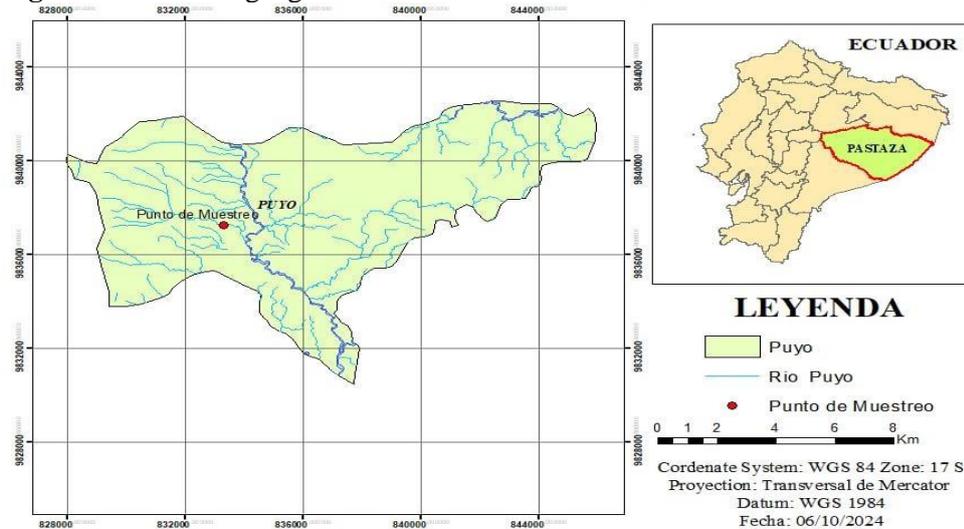
## **METODOLOGÍA**

### **Localización**

El presente estudio se realizó en el río Pambay, un cuerpo de agua superficial ubicado en la región amazónica de Ecuador, en la provincia de Pastaza (Figura 1). Este río constituye una fuente esencial para la recreación local, pero se encuentra sometido a presiones antropogénicas derivadas de prácticas pecuarias, industriales y domésticas que incrementan la carga contaminante, especialmente de metales pesados según Beltrán-Conlago, A. C., Ledesma-Acosta, R. D., León-Fiallos, K. Z., & Paredes-Cepeda, E. R. (2024).



**Figura 1** Ubicación geográfica del área de estudio



El área de estudio cubre un segmento del río Pambay que atraviesa zonas rurales y periurbanas. Este río es receptor de aguas residuales, pecuarias y municipales que incluye el uso de fertilizantes nitrogenados y fosfatados, así como agroquímicos que contienen metales pesados. Además, recibe aguas residuales no tratadas, contribuyendo a la degradación de su calidad fisicoquímica (Sariana Martínez-Ríos, Eugenia Pedraza-Bucio, López- Albarrán, Luiz Colodette, Guadalupe Rutiaga-Quiñones 2020).

Las muestras se recolectaron en el Dique Pambay para evaluar las variaciones estacionales en la calidad del agua.

### **Condiciones hidrológicas y climáticas del área de estudio**

La subcuenca del río Pambay tiene un régimen hidrológico pluvial, donde los caudales fluctúan significativamente según las temporadas. Durante la época de lluvias (octubre a mayo), el caudal aumenta debido a las precipitaciones intensas, lo que promueve la lixiviación de contaminantes de fuentes puntuales y difusas hacia el sistema acuático. La precipitación anual en la región varía entre 3500 mm y 4000 mm, con una humedad relativa alta, lo que también influye en los procesos de movilización de metales pesados y otros compuestos en el agua (De la Cruz Shingon, 2015).

El monitoreo hidrológico incluyó la medición de parámetros como el caudal instantáneo, la velocidad de corriente y la profundidad media en cada punto de muestreo, datos que son cruciales para entender el transporte y dispersión de contaminantes en cuerpos fluviales (Herrera E, 2008).

## **Caracterización ambiental del área de estudio**

El ecosistema alrededor del río Pambay es característico de la ecorregión amazónica, donde se observan suelos aluviales y vegetación densa, con un alto contenido de materia orgánica y vegetación de bosque secundario. Sin embargo, la actividad antropogénica ha generado una alteración significativa en la calidad del agua. La vegetación riparia, clave para la protección del cauce, ha sido en gran medida fragmentada debido a la expansión agropecuaria y la deforestación, lo que provoca la erosión del suelo y la entrada de sedimentos al río (Ingeniería En Manejo Y Conservación Del Medio Ambiente (De la Cruz Shingon, 2015).

## **Aspectos ambientales**

El río Pambay está sometido a presiones contaminantes debido a la influencia de varias actividades humanas:

- La ganadería intensiva y la agricultura en la subcuenca del río Pambay implica el uso extensivo de fitosanitarios esenciales para maximizar el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, la aplicación inadecuada de estos agroquímicos induce la movilización de nutrientes y trazas de metales pesados hacia el río a través de procesos de escorrentía superficial. Este fenómeno se agrava durante eventos pluviales, cuando el agua de lluvia arrastra estos contaminantes hacia el sistema fluvial. Los contaminantes orgánicos y metales pesados, como el plomo (Pb) y el cadmio (Cd), se asocian frecuentemente con pesticidas de uso común en la agricultura. Estos compuestos tienen el potencial de bioacumularse en la cadena trófica, generando efectos adversos tanto en la salud humana como en la biota acuática (S. E. Pabón, R. A. Sarria-Villa y J. A. Gallo 2020). Además, el uso excesivo de fertilizantes puede dar lugar a eutrofización, un proceso que provoca el crecimiento descontrolado de algas y la reducción de oxígeno disuelto, afectando severamente los ecosistemas acuáticos.
- Las aguas residuales sin tratamiento, procedentes de asentamientos humanos aledaños, constituyen otra fuente significativa de contaminación. Estas aguas presentan altas concentraciones de materia orgánica, nutrientes (como nitrógeno y fósforo) y metales pesados. La carencia de sistemas de saneamiento adecuados o la ausencia total de estos en muchas áreas contribuyen al vertido directo de aguas contaminadas en el río, exacerbando el deterioro de su

calidad. Estas descargas no solo incrementan la carga de contaminantes químicos, sino que también favorecen la proliferación de microorganismos patógenos, como coliformes fecales, indicadores de contaminación fecal que representan un riesgo significativo para la salud pública. La exposición a estas aguas contaminadas puede resultar en brotes de enfermedades gastrointestinales y otros problemas de salud en las comunidades que dependen del río como fuente de agua potable y recreativa.

- Las descargas industriales, aunque de menor escala, las pequeñas industrias ubicadas en las cercanías contribuyen a la contaminación con efluentes que contienen metales pesados, derivados de procesos de lavado de vehículos livianos y pesados, la cerrajería y latonería automotriz (Herrera E, 2008). La falta de regulación adecuada y el incumplimiento de normativas ambientales por parte de estas industrias agravan aún más la situación. El vertido de efluentes sin el tratamiento correspondiente no solo contamina el agua del río, sino que también compromete la salud de los ecosistemas acuáticos y de las comunidades que dependen de ellos para su subsistencia. La presencia de metales pesados en el agua puede inducir efectos adversos en la biota acuática, como el deterioro de la salud de los organismos y la alteración de los ciclos reproductivos, lo que a su vez afecta la biodiversidad local.

### **Impacto ambiental**

El impacto de estas actividades sobre el río Pambay se refleja en el deterioro de los parámetros fisicoquímicos del agua, como el pH, la conductividad eléctrica y la concentración de metales pesados, afectando tanto a los ecosistemas acuáticos como a las comunidades humanas que dependen del río. El aumento en las concentraciones de Pb, Cd y As representa un riesgo significativo para la fauna acuática y la salud pública, dado que estos metales son bioacumulativos y pueden generar efectos tóxicos a largo plazo (Menéndez, 2020).

### **Enfoque experimental**

El presente estudio se llevó a cabo bajo un diseño experimental completamente aleatorio, en el cual se compararon dos tipos de adsorbentes: carbón vegetal de Eucalipto y carbón de Pigüe. Las muestras de aguas residuales fueron recolectadas en distintos puntos del río Pambay, seleccionados estratégicamente

para representar áreas con diversos niveles de contaminación, principalmente atribuidos a actividades industriales y agropecuarias.

Las muestras fueron sometidas a tratamiento en un biofiltro, diseñado para optimizar el proceso de adsorción de contaminantes. Este sistema de biofiltración permite que el agua residual fluya a través de un lecho de carbón activado, donde los contaminantes disueltos, incluidos metales pesados y compuestos orgánicos, se adhieren a la superficie de los adsorbentes. La configuración del biofiltro maximiza el tiempo de contacto entre el agua y los materiales adsorbentes, favoreciendo así la eficacia en la remoción de contaminantes y la mejora de la calidad del agua tratada.

Este enfoque no solo busca evaluar la capacidad adsorbente de los materiales, sino también su viabilidad en un sistema que simule condiciones reales de tratamiento de aguas residuales. Al integrar el uso de biofiltros en la investigación, se proporciona información valiosa para el desarrollo de soluciones sostenibles y económicamente accesibles para la mitigación de la contaminación hídrica en la región amazónica.

### **Preparación de los adsorbentes**

El carbón vegetal de Eucalipto se elaboró a partir de residuos mediante un proceso de pirólisis controlada. Este procedimiento se realizó mediante la descomposición térmica de la biomasa en un ambiente anaeróbico a temperaturas entre 450°C y 600°C, lo que permitió la eliminación de compuestos volátiles y la carbonización del material. Posteriormente, se llevó a cabo la activación física para aumentar la porosidad, creando micro y mesoporos que maximizan el área superficial y facilitar la adsorción de metales pesados.

Para la caracterización del carbón vegetal de Eucalipto, se utilizó el método de adsorción de nitrógeno BET (Brunauer- Emmett-Teller) para determinar la superficie específica, la cual alcanzó aproximadamente 800 m<sup>2</sup>/g.

El pigüe se preparó a partir de biomasa local no tratada, lo que minimizó los costos de producción. Para mejorar su capacidad adsorbente, el material fue mecanizado y tamizado para obtener un rango de tamaño de partícula de 500 micras. Aunque este material no se sometió a un proceso de activación térmica o química, su utilización como adsorbente natural fue investigada debido a su accesibilidad y disponibilidad regional.



Para la caracterización del Pigüe, se llevó a cabo mediante un análisis proximal para determinar los componentes estructurales (celulosa, lignina y hemicelulosa), que influyen en la capacidad de adsorción.

### **Preparación de muestra**

Las muestras de agua se recolectaron en botellas de polietileno de alta densidad (HDPE) de 1 L, previamente esterilizadas. Las muestras fueron filtradas a través de un filtro de membrana de 0.45  $\mu\text{m}$  para eliminar partículas suspendidas y se almacenaron a 4°C en refrigeración hasta su análisis. Durante la recolección, se registraron parámetros del pH, la temperatura y la conductividad.

Las muestras recolectadas fueron cuidadosamente transportadas al laboratorio de la Universidad Estatal Amazónica, donde se sometieron a un análisis utilizando métodos analíticos estandarizados. Este procedimiento incluyó la evaluación de parámetros fisicoquímicos y la cuantificación de metales pesados mediante Espectroscopía de Absorción Atómica (AAS), asegurando así la precisión y validez de los resultados obtenidos para el plomo (Pb) y el cadmio (Cd).

### **Procedimiento experimental**

El estudio experimental se diseñó para evaluar la eficacia de los adsorbentes en la remoción de metales pesados (Pb, Cd y As) a diferentes concentraciones de adsorbente. Para cada material, se prepararon tres soluciones con concentraciones de 5 g/L, 10 g/L y 15 g/L, respectivamente, lo que permitió evaluar el efecto de la dosis en la capacidad de adsorción.

Las muestras de agua se agitaron durante 20 minutos en un agitador orbital a 200 rpm, manteniendo una temperatura constante de 25°C. El pH inicial de las muestras se midió y se ajustó a 6.5 para todas las pruebas, a fin de simular las condiciones del agua contaminada del río. Después del tiempo de contacto, las muestras fueron filtradas para separar los adsorbentes y el agua tratada fue llevada a análisis químicos.

Para la cuantificación de los metales pesados (Pb y Cd), se utilizó Espectroscopía de Absorción Atómica (AAS) con detección de llama y horno de grafito, garantizando una alta sensibilidad para la detección de metales en concentraciones de partes por millón (ppm) y partes por billón (ppb). Es importante destacar que para la determinación cuantitativa de Arsénico (As), se realizó con reactivos para su análisis de la detención de Arsénico, siendo un adicional, orientado a la obtención de información complementaria sobre la calidad del agua, dada su contaminación. El pH se midió antes y después del



tratamiento con un medidor de pH digital calibrado según los estándares del NIST (National Institute of Standards and Technology).

La eficiencia de remoción de cada adsorbente se calculó utilizando la siguiente ecuación 1.

$$\% \text{ remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \quad \text{ecuación 1}$$

Donde:

$C_i$ : es la concentración inicial de metales pesados.

$C_f$ : es la concentración final después del tratamiento.

## RESULTADOS

La evaluación de la eficacia de los adsorbentes, carbón de Eucalipto y carbón de Pigüe en la purificación de aguas residuales del río Pambay reveló resultados significativos en la remoción de metales pesados y la mejora de parámetros fisicoquímicos, como el pH. En la tabla 1, se presentan los resultados detallados y organizados mediante comparativas para facilitar su análisis.

También, se realizó un análisis exhaustivo de la capacidad de ambos tipos de carbón para eliminar metales pesados de las aguas residuales. Se midieron las concentraciones de plomo (Pb), cadmio (Cd) antes y después del tratamiento.

**Tabla 1** Remoción de Plomo (Pb).

| Concentración de adsorción (g/L) | Concentración final con Eucalipto (mg/L) | Concentración final con pigüe (mg/L) | Remoción con Eucalipto (%) | Remoción con pigüe (%) |
|----------------------------------|--|--------------------------------------|----------------------------|------------------------|
| 5,00                             | 1,50                                     | 2,10                                 | 65,00                      | 58,00                  |
| 10,00                            | 2,40                                     | 3,20                                 | 76,00                      | 68,00                  |
| 15,00                            | 2,25                                     | 3,30                                 | 85,00                      | 78,00                  |

El carbón vegetal de Eucalipto mostró una eficiencia superior en la remoción de plomo (Pb), alcanzando hasta el 85,00 % de remoción a la concentración de 15,00 g/L. Esto indica que este material es altamente efectivo para la eliminación de Pb, un metal comúnmente encontrado en aguas contaminadas.

En el caso del cadmio, el carbón de Pigüe presentó una mayor eficacia en comparación con el de Eucalipto (Tabla 2). Este material alcanzó una eficiencia del 82,00 % en la dosis de 15,00 g/L, lo que sugiere que su estructura porosa favorece la adsorción de este contaminante tóxico.

**Tabla 2** Remoción de Cadmio (Cd).

| Concentración de adsorbente (g/L) | Concentración final con Eucalipto (mg/L) | Concentración final con Pigüe (mg/L) | Remoción con Eucalipto (%) | Remoción con Pigüe (%) |
|-----------------------------------|--|--------------------------------------|----------------------------|------------------------|
| 5,00                              | 2,25                                     | 1,90                                 | 55,00                      | 62,00                  |
| 10,00                             | 3,50                                     | 2,80                                 | 65,00                      | 72,00                  |
| 15,00                             | 3,75                                     | 2,70                                 | 75,00                      | 82,00                  |

El carbón de Eucalipto fue más efectivo en la remoción de Arsénico (As), logrando una reducción del 70,00 % en 15,00 g/L, en comparación con el 65,00 % alcanzado por el carbón de Pigüe (Tabla 3). Esto indica que el Eucalipto presenta una mayor afinidad química para adsorber el Arsénico.

**Tabla 3** Remoción de Arsénico (As).

| Concentración de adsorbente (g/L) | Concentración final con Eucalipto (mg/ $\mu$ m) | Concentración final con Pigüe (mg/ $\mu$ m) | Remoción con Eucalipto (%) | Remoción con Pigüe (%) |
|-----------------------------------|---|---|----------------------------|------------------------|
| 5,00                              | 2,75  | 2,90  | 45,00                      | 42,00                  |
| 10,00                             | 4,50  | 4,70  | 55,00                      | 53,00                  |
| 15,00                             | 4,50  | 5,25  | 70,00                      | 65,00                  |

El pH de las muestras tratadas fue monitorizado para evaluar la calidad del agua post-tratamiento (Tabla 4). Se observó que el carbón de Eucalipto tendió a reducir el pH a niveles ligeramente ácidos, mientras que el carbón de Pigüe mantuvo el pH más cercano a la neutralidad, lo que es esencial para aplicaciones de reutilización de agua.

**Tabla 4** Cambios en el pH de las muestras con tratamiento.

| Concentración de adsorbente (g/L) | pH Inicial | pH final con Eucalipto | pH final con Pigüe |
|-----------------------------------|------------|------------------------|--------------------|
| 5,00                              | 6,50       | 6,20                   | 6,50               |
| 10,00                             | 6,50       | 6,10                   | 6,40               |
| 15,00                             | 6,50       | 6,00                   | 6,30               |

En la Tabla 5, se muestra los resultados de otros parámetros relevantes como el contenido de dureza y alcalinidad, los cuales también se vieron alterados por el tratamiento.

**Tabla 5** Dureza y Alcalinidad de las muestras con tratamiento

| Adsorbente | Dureza inicial (mg/L) | Dureza final (mg/L) | Alcalinidad inicial (mg/L) | Alcalinidad final (mg/L) |
|------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|
| Eucalipto  | 125,00                | 125,00              | 0,00                       | 120,00                   |
| Pigüe      | 125,00                | 120,00              | 0,00                       | 150,00                   |

Al considerar la eficiencia global de remoción de contaminantes en las aguas residuales del río Pambay, se observó que el carbón de Eucalipto es particularmente efectivo en la eliminación de Pb, mientras que el carbón de Pigüe se destacó en la remoción de Cd. La siguiente Tabla 6, resume la eficiencia promedio de remoción para los metales pesados estudiados.

**Tabla 6** Eficiencia promedio de remoción de metales pesados.

| <b>Adsorbente</b> | <b>Remoción de Pb (%)</b> | <b>Remoción de Cd (%)</b> | <b>Remoción de As (%)</b> |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Eucalipto         | 75,00                     | 65,00                     | 57,00                     |
| Pigüe             | 68,00                     | 72,00                     | 53,00                     |

La eficiencia del biofiltro con carbón de Pigüe demostró ser efectivo en la eliminación de contaminantes y metales pesados, así como en la mejora de la calidad del agua del dique Pambay. Esto se traduce en una disminución notable de las concentraciones de metales peligrosos, haciendo del carbón de Pigüe una opción viable y económica para el tratamiento de aguas residuales.

En cuanto al carbón de Eucalipto demostró una alta capacidad para eliminar plomo, lo que sugiere una adecuada afinidad química y una estructura porosa óptima para la adsorción de estos metales.

La reducción del pH a niveles ligeramente ácidos puede ser ventajosa para la solubilidad de ciertos metales, pero puede presentar desventajas en aplicaciones donde se requiere mantener un pH neutro para asegurar la calidad del agua tratada.

## CONCLUSIONES

Los hallazgos de este estudio proporcionan evidencia sólida sobre la efectividad de los biofiltros de carbón de Eucalipto y Pigüe en la purificación de aguas residuales. La implementación de estos tratamientos puede generar un impacto positivo en la calidad del agua y en la salud de las comunidades locales, promoviendo la sostenibilidad ambiental y la salud pública en la región.

La eficiencia en la remoción de metales pesados con los dos tipos de carbón, mostraron una notable capacidad de adsorción en la eliminación de metales pesados. Con el carbón de Eucalipto logrando tasas de remoción superiores para plomo (Pb) y arsénico (As), mientras que el carbón de Pigüe demostró una eficacia destacada en la remoción de cadmio (Cd). Estos hallazgos indican que la selección del material adsorbente debe fundamentarse en la naturaleza específica de los contaminantes presentes en el agua a tratar.



La implementación de biofiltros con ambos tipos de carbón no solo resultó en la reducción de metales pesados, sino que también promovió la mejora de parámetros fisicoquímicos del agua, tales como el pH, la dureza y la alcalinidad. El carbón de Pigüe mantuvo el pH en niveles más próximos a la neutralidad, lo que lo convierte en una opción óptima para aplicaciones donde la calidad del agua es crítica, especialmente en contextos de reutilización y conservación.

La evidencia de eficiencia de remoción de metales pesados exhibe una correlación directa con la concentración del adsorbente utilizado. Esto subraya la importancia de la optimización de la dosis de carbón activado para maximizar la capacidad de adsorción, lo que podría mejorar significativamente el rendimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y facilitar el cumplimiento de normativas ambientales.

La eficacia del carbón de Pigüe, siendo un material natural y de bajo costo, representa una alternativa sostenible y accesible para el tratamiento de aguas residuales en comunidades rurales y periurbanas de la región amazónica de Ecuador. Este aspecto es crucial, considerando que muchas comunidades dependen de fuentes hídricas con calidad comprometida.

La implementación de estas tecnologías de tratamiento contribuye a mitigar el impacto ambiental de las actividades antropogénicas en el río Pambay, ayudando a restaurar la calidad del agua y a proteger la salud pública. La disminución de metales pesados es fundamental para prevenir la bioacumulación en organismos acuáticos y los efectos adversos en la salud humana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril-Saltos, RV, Armas-Chugcho, PA, Chamorro, WP, Toscano-Salazar, VE, Sucoshañay-Villalva, DJ, & Ríos-Rodríguez, FA (2021). Calidad del agua del río Puyo y afluentes, Pastaza, Ecuador. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 12 (3), 379–417. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-03-10>
- Beltrán-Conlago, A. C., Ledesma-Acosta, R. D., León-Fiallos, K. Z., & Paredes-Cepeda, E. R. (2024). Evaluación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Basados en Naturaleza: Potencial para Ciudades Sostenibles. *MQRInvestigar*, 8(4), 1558–1578. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.4.2024.1558-1578>



De la Cruz S, (2015). Análisis de la calidad de agua del río Pambay mediante la identificación macroinvertebrados para elaborar una propuesta de Plan de Manejo Ambiental [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja]. dspace.unl.edu.ec.

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10026/1/TESIS%20FINAL%20LUISA%20DE%20LA%20CRUZ.pdf>.

Herrera, E. (2008). Estructura de la vegetación, diversidad y regeneración natural de árboles en la cuenca baja del río Pambay, Puyo, Provincia de Pastaza [Tesis de pregrado]. dspace.espol.edu.ec. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10410>

Herrera-Morales, Greys Carolina and Cabezas- Andrade, Leonardo Daniel, (2022). El impacto ambiental en la contaminación del agua en el Ecuador. *Ingenium et Potentia*. 1 July 2022. Vol. 4, no. 7, p. 78. DOI 10.35381/i.p.v4i7.1865.

Laura Parker, (2024). Contaminación del agua, una crisis mundial creciente \_ National Geographic. . Online. 16 July 2024. Available from:

<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/como-funciona-el-sistema-de-categoria-de-huracanes>

Zambrano Zambrano, Jhon Enrique, Dueñas-Rivadeneira, Alex Alberto, & Gutiérrez Villanueva, Aixa Rosa. (2021). Biomasa de residuos agrícolas para la obtención de productos agroindustriales: potencialidades y desafíos en el Ecuador. *Centro Azúcar*, 48 (3), 120-133. Epub 01 de julio de 2021. Recuperado en 15 de febrero de 2025, de

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612021000300120&lng=es&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000300120&lng=es&tlng=en).

Zárate, MC y Calvo, EM (2020). Evaluación de la eficiencia de remoción de acetaminofén contenido en aguas a escala de laboratorio a través de la técnica de bioadsorción empleando cáscara de cacao y plátano.

