



ISSN-e: 2711-3892

# Biorremediación de aguas residuales provenientes de la minería contaminadas con plomo mediante un consorcio de microorganismos nativos

*Bioremediation of lead-contaminated mining wastewater by a consortium of native microorganisms*

Laura Daniela Patiño Barrera<sup>1</sup> , MSc. Paula Andrea Henao Aguirre<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Programa de Ingeniería Química, Semillero de sistemas reactivos, Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

**Correspondencia:** Laura Daniela Patiño Barrera.  
Correo electrónico:  
laura.patinola@unipamplona.edu.co

**Recibido:** 13/11/2024  
**Aceptado:** 28/12/2024

**Citar así:** Patiño Barrera, L. D., & Henao Aguirre, P. A. (2024). Biorremediación de aguas residuales provenientes de la minería contaminadas con plomo mediante un consorcio de microorganismos nativos. *Revista Semilleros De Investigación*, 5(1), 9–14..  
Recuperado de <https://doi.org/10.24054/sei.v5i1.3506>

**Copyright:** © 2024. Universidad de Pamplona, Colombia. La *Revista Semilleros de Investigación* proporciona acceso abierto a todo su contenido bajo los términos de la licencia Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).

**Agradecimientos:** Agradecimiento a mis directoras de semillero las docentes Paula Andrea Henao Aguirre y Carla Stephanny Cárdenas Bustos, a mi

## Resumen

En la industria minera, los efluentes de aguas residuales están contaminados principalmente con metales pesados como mercurio, plomo, cromo y zinc. Estos efluentes requieren un pretratamiento antes de ser vertidos en cuerpos de agua para cumplir con la normativa ambiental. Este proyecto se enfoca en una revisión bibliográfica sobre biorremediación de aguas residuales usando agentes biológicos (bacterias, algas, hongos, plantas), que destacan por su capacidad de adsorción y degradación de metales pesados. El objetivo es identificar el agente biológico más eficaz en la adsorción de metales presentes en aguas residuales mineras. Posteriormente, se realizarán prácticas experimentales utilizando agua pura contaminada con concentraciones de metales según la literatura. Esta mezcla se tratará en una laguna de estabilización con el agente seleccionado, evaluando su capacidad de adsorción y tiempos de reacción para optimizar el pretratamiento de aguas mineras, cumpliendo con la normativa colombiana para vertimiento en cuerpos de agua superficiales.

**Palabras clave:** Minería, plomo, agentes biológicos, biorremediación.

## Abstract

In the mining industry, wastewater effluents are mainly contaminated with heavy metals such as mercury, lead, chromium and zinc. These effluents require pretreatment before discharge into water bodies to comply with environmental regulations. This project focuses on a

docente Jeniffer Katerine Carillo Gomez y a las encargadas del laboratorio de calidad de la universidad de pamplona por su apoyo en la realización de la investigación.

literature review on wastewater bioremediation using biological agents (bacteria, algae, fungi, plants), which stand out for their ability to adsorb and degrade heavy metals. The objective is to identify the most effective biological agent in the adsorption of metals present in mining wastewater. Subsequently, experimental practices will be carried out using pure water contaminated with metal concentrations according to the literature. This mixture will be treated in a stabilization pond with the selected agent, evaluating its adsorption capacity and reaction times to optimize the pretreatment of mining waters, complying with Colombian regulations for discharge into surface water bodies.

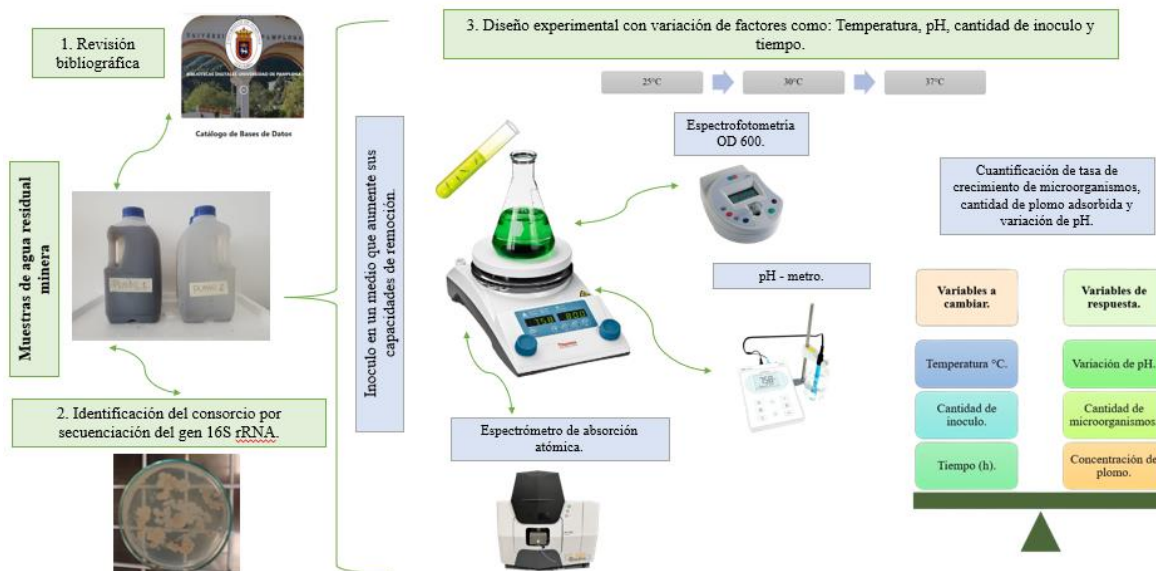
**Keywords:** Mining, lead, biological agents, bioremediation.

## 1. INTRODUCCIÓN

La actividad minera representa una fuente significativa de contaminación del agua a causa de los efluentes que contienen metales pesados como mercurio, plomo, cromo y zinc. Estos metales, debido a su alta toxicidad y persistencia[1], necesitan un tratamiento previo antes de ser depositados en cuerpos de agua naturales para prevenir efectos perjudiciales en el medio ambiente y la salud de las personas. En este marco, la biorremediación se presenta como una alternativa ecológica y lucrativa, empleando compuestos biológicos como bacterias, hongos, algas y plantas para absorber y descomponer estos contaminantes[2].

La biorremediación es un proceso para el tratamiento de aguas residuales el cual se basa en el uso de microorganismos para degradar ciertos componentes del agua contaminada y que esta pueda ser vertida a efluentes finales sin dicha contaminación, los agentes biológicos comprenden los microorganismos (virus, bacterias y hongos) con inclusión de los genéticamente modificados[3], por otro lado el proceso de adsorción evalúa la capacidad que tiene un agente biológico para captar y degradar ciertos componentes presentes en una solución, los contaminante de interés presentados son los metales pesados que son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua se destaca el mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo[4].

Esta técnica se distingue por su eficacia en la eliminación de metales pesados a través de procedimientos naturales que convierten los metales venenosos en sustancias menos perjudiciales. Investigaciones recientes han investigado la aplicación de varios microorganismos y plantas para eliminar contaminantes de aguas residuales industriales, particularmente en entornos mineros[5]. Este proyecto se enfocará en un análisis bibliográfico para determinar el agente biológico más eficaz en la adsorción de metales pesados, seguida de ensayos experimentales que midan su habilidad para adsorción, con la finalidad de mejorar el pretratamiento de aguas residuales de la minería y acatar las normativas ambientales vigentes.



**Figura 1:** Esquema de la metodología a desarrollar para la propuesta de investigación.

**Fuente:** Elaboración propia.

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1. Preparación de soluciones de plomo

Para la cuantificación de las concentraciones de plomo se preparó una solución madre con una concentración de 100 ppm, esta solución se preparó adicionando 0.016 g de Nitrato de plomo ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) en 1 mL de Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) aforando hasta 100 mL, de este modo se evaluó el límite de detección del equipo AA-7000. De este modo se realizaron diluciones para obtener las soluciones patrón de 0, 0.4, 1.0, 3.0, 5.0, 10, 40 y 100 ppm para la realización de la curva de calibración.

### 2.2 Cuantificación de soluciones de plomo (Pb)

Para la determinación de plomo en muestras de agua residual proveniente de actividades mineras, se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica (AA) modelo AA-7000 de Shimadzu de la Universidad de Pamplona, empleando la técnica de llama con acetileno. La espectrofotometría de absorción atómica (AAS) [6] es una técnica analítica que permite la cuantificación de elementos metálicos mediante la medición de la absorción de luz por átomos libres en estado gaseoso. Para este análisis, se empleó una fuente de radiación específica para plomo, un cátodo hueco de lámpara que emite una longitud de onda característica del metal a analizar[7].

La señal absorbida se mide en función de la longitud de onda correspondiente al plomo (283.3 nm), lo que permite cuantificar su concentración mediante un software de análisis integrado en el equipo AA-7000. Se realizó una curva de calibración utilizando patrones de plomo de concentraciones conocidas para garantizar la precisión del método. Este procedimiento proporciona una alta sensibilidad y precisión en la detección de plomo, siendo ideal para la evaluación de aguas contaminadas con metales pesados, cabe recalcar que este método sigue las recomendaciones estándar para la determinación de metales pesados en aguas residuales, asegurando la fiabilidad de los datos obtenidos.

### 2.3 Técnica de identificación por secuenciación del gen 16S rRNA.

Para la identificación bacteriana en esta investigación, se plantea utilizar la técnica de amplificación y secuenciación del gen 16S rRNA, un método común en microbiología para caracterizar y diferenciar especies bacterianas, donde se busca extraer el ADN genómico de las muestras y se lleva a cabo una reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para amplificar el gen 16S rRNA, utilizando primers universales. Los productos amplificados serán verificados mediante electroforesis en gel y posteriormente secuenciados. Las secuencias obtenidas serán comparadas con bases de datos genéticas para identificar las especies presentes, lo que permitirá un análisis detallado de la comunidad microbiana involucrada[8], [9].

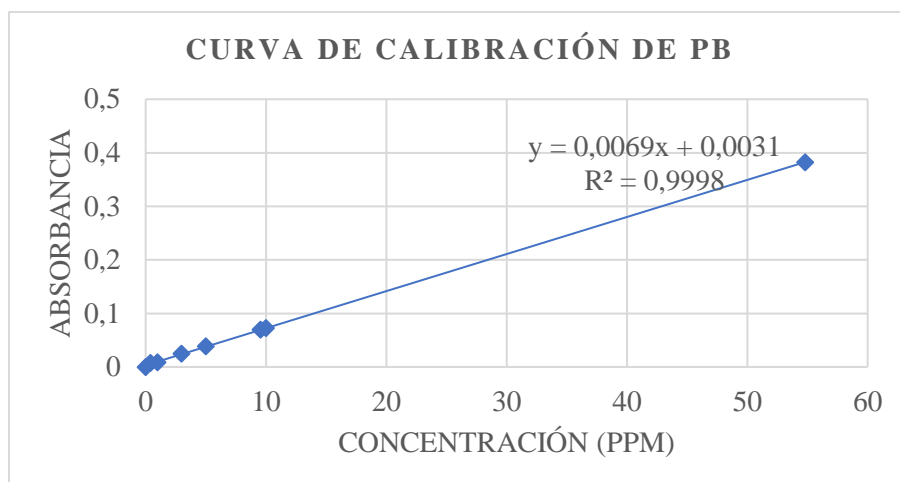
## 3. RESULTADOS

En los resultados obtenidos mediante espectrofotometría de absorción atómica utilizando el equipo AA-7000 de Shimadzu, se logró establecer una curva de calibración (ver figura 2) para la detección de plomo. La curva mostró un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,99, lo que indica una excelente linealidad en la respuesta del equipo. Además, se determinó que el límite de detección máximo alcanzado fue de 54.8097 ppm, esto se comprobó debido a que fue la lectura máxima de concentración que realizó al equipo al pasar una solución de 100 ppm. Además, como se observa en la **tabla 1**, el equipo detecta correctamente soluciones a bajas concentraciones lo que es necesario en el momento que se analicen las soluciones luego del proceso de biorremediación, ya que se busca llegar a estar por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la resolución 631 de 2015[10]. Cabe destacar que las soluciones evaluadas fueron sintéticas, preparadas en el laboratorio para esta fase inicial del estudio, ya que aún no se han analizado muestras reales de agua residual provenientes de procesos mineros. Estos resultados preliminares demuestran la capacidad del método para la cuantificación precisa de metales en futuras muestras ambientales.

*Tabla 1. Datos de la curva de calibración.*

Muestra	Concentración (ppm)	Absorbancia
Blanco: Agua destilada	0	0
Patrón de plomo 1	0.4	0.0078
Patrón de plomo 2	1.0	0.0088
Patrón de plomo 3	3.0	0.248
Patrón de plomo 4	5.0	0.0390
Patrón de plomo 5	10	0.0726
Solución madre	54.8097	0.3824
Dilución 1:10 de la solución madre	9.5694	0.0699

**Fuente:** elaboración propia



**Figura 2:** Curva de calibración para las soluciones de plomo concentradas en el laboratorio.  
**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4. CONCLUSIONES

El uso del equipo AA-7000 de Shimadzu para medir el plomo a través de espectrofotometría de absorción atómica demostró ser un procedimiento exacto y fiable, alcanzando un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,99 y un límite de detección de hasta 55 ppm. Esto corrobora la eficacia de este método analítico para el seguimiento de metales pesados en aguas contaminadas, garantizando la exactitud requerida para usos futuros en investigaciones ambientales.

La literatura y las investigaciones preliminares consolidan aún más la idea de que la biorremediación (que implica el uso de agentes biológicos, incluidas bacterias, algas y hongos) es un método económicamente viable para la eliminación de metales pesados de los efluentes de las aguas residuales, que tiene resultados respetuosos con el medio ambiente. En este enfoque, la toxicidad de las aguas residuales se minimiza significativamente y promueve la sostenibilidad ambiental debido a la utilización de procesos naturales de adsorción y degradación.

La integración del pretratamiento basado en la biorremediación junto con métodos avanzados de detección como la absorción atómica desempeñaría un papel importante en el aumento de la eficiencia de los sistemas de tratamiento de residuos industriales. Esto no solo facilitaría a las empresas el cumplimiento de la gestión del medio ambiente, sino que también haría que el proceso de purificación fuera más seguro y sostenible en lo que respecta a la gestión de los recursos acuáticos.

#### REFERENCIAS

- [1] M. Moghimi Dehkordi, Z. Pournuroz Nodeh, K. Soleimani Dehkordi, H. salmanvandi, R. Rasouli Khorjestan, y M. Ghaffarzadeh, «Soil, air, and water pollution from mining and industrial activities: Sources of pollution, environmental impacts, and prevention and control methods», *Results in Engineering*, vol. 23, p. 102729, sep. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102729.
- [2] «BIORREMEDIACIÓN EFICIENTE DE EFLUENTES METALÚRGICOS MEDIANTE EL USO DE MICROALGAS DE LA AMAZONÍA Y LOS ANDES DEL ECUADOR». Accedido: 11 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000400917&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000400917&script=sci_arttext)
- [3] V. Pande, S. C. Pandey, D. Sati, P. Bhatt, y M. Samant, «Microbial Interventions in Bioremediation of Heavy Metal Contaminants in Agroecosystem», *Front. Microbiol.*, vol. 13,

- may 2022, doi: 10.3389/fmicb.2022.824084.
- [4] M. I. Abo-Alkasem, N. H. Hassan, y M. M. Abo Elsoud, «Microbial bioremediation as a tool for the removal of heavy metals», *Bulletin of the National Research Centre*, vol. 47, n.º 1, p. 31, feb. 2023, doi: 10.1186/s42269-023-01006-z.
- [5] R. O. Harlyn Ruperto, «Desarrollo de una técnica de biorremediación para el tratamiento de agua residual proveniente de la recuperación de oro», bachelorThesis, Universidad Nacional de Chimborazo, 2018, 2018. Accedido: 11 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5021>
- [6] W. Gallegos, M. Vega, y P. Noriega, «Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos», *La Granja*, vol. 15, n.º 1, Art. n.º 1, jun. 2012, doi: 10.17163/lgr.n15.2012.02.
- [7] M. Z. Meza Poma, «Determinación de plomo y arsénico por absorción atómica en aguas de río para consumo humano [provenientes de caños y reservorio en el anexo de Huancapuquio, distrito de Chocos provincia de Yauyos 2017]», *Universidad Privada Norbert Wiener*, jun. 2018, Accedido: 11 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/20.500.13053/1789>
- [8] A. Bertolo, E. Valido, y J. Stoyanov, «Optimized bacterial community characterization through full-length 16S rRNA gene sequencing utilizing MinION nanopore technology», *BMC Microbiology*, vol. 24, n.º 1, p. 58, feb. 2024, doi: 10.1186/s12866-024-03208-5.
- [9] M.-N. Li *et al.*, «16S rRNA gene sequencing for bacterial identification and infectious disease diagnosis», 14 de octubre de 2024, *bioRxiv*. doi: 10.1101/2024.10.14.618149.
- [10] «Resolución 631 de 2015 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible». Accedido: 11 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=70346>