



## *Biorremediación de efluentes de la industria minera contaminados con cianuro*

### *Biorremediation of effluents of the mining industry contaminated with cyanide*

### *Biorremediação de efluentes da indústria de mineração contaminados com cianeto*

Miguel Angel Osorio-Rivera <sup>I</sup>  
[miguel.osorio@epoch.edu.ec](mailto:miguel.osorio@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-8641-2721>

William Xavier Ibañez-Moreno <sup>II</sup>  
[william.ibanez@epoch.edu.ec](mailto:william.ibanez@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-6488-1121>

Diana Nereida Villa-Uvidia <sup>III</sup>  
[diana.villa@epoch.edu.ec](mailto:diana.villa@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-1402-4922>

Harlyn Ruperto Rivera-Ortiz <sup>IV</sup>  
[harlynrivera@hotmail.com](mailto:harlynrivera@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-1282-179X>

Benito Guillermo Mendoza-Trujillo <sup>V</sup>  
[bengui64@hotmail.com](mailto:bengui64@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-8555-8350>

**Correspondencia:** [miguel.osorio@epoch.edu.ec](mailto:miguel.osorio@epoch.edu.ec)

Ciencias técnicas y aplicadas  
Artículo de investigación

\***Recibido:** 17 de enero de 2020 \***Aceptado:** 28 de febrero de 2020 \* **Publicado:** 10 de marzo de 2020

- I. Máster en Ingeniería Ambiental, Ingeniero Ambiental, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- II. Máster Universitario en Química Industrial e Introducción a la Investigación Química, Ingeniero Químico, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- III. Máster en Procesamiento de Alimentos, Ingeniera en Industrias Pecuaria, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- IV. Ingeniero Ambiental, Técnico Ambiental del Municipio de Logroño, Macas, Ecuador.
- V. Doctor en Ingeniería Hidráulica para el Ambiente y el Territorio, Ingeniero Ambiental, Docente de la Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

## Resumen

El cianuro constituye la sustancia química mayormente empleada para la lixiviación de oro en la actividad minera. Su alta toxicidad afecta directamente a los organismos que se desarrollan alrededor de dicha industria, y al medio ambiente en general. Con el fin de reducir los niveles de cianuro libre en efluentes provenientes de la minería, el trabajo se enfocó en determinar las condiciones óptimas para la biodegradación de cianuro empleando los extractos de dos tipos de plantas nativas (*Cecropia peltata* L. y *Malva sylvestris*) de la Amazonía ecuatoriana. Para los ensayos se prepararon muestras sintéticas con concentración de 1mg/l CN<sup>-</sup> y se aplicaron dos tipos de pruebas: la primera mediante el machacado de las hojas de las plantas y la extracción en medio alcohólico, y la segunda a través de dosificaciones en un equipo de jarras. Con el machacado después de un reposo de 5 días entre machacado y agua con concentración de 1 mg/l con ambas plantas se obtuvo un porcentaje de remoción de 17% con la *Malva sylvestris* y del 12% con *Cecropia peltata* L. En cambio, al hacer pruebas de dosificación se obtuvo porcentajes de remoción del 14% y 11% con los extractos acuosos de *Malva sylvestris* y *Cecropia peltata* L respectivamente.

**Palabras claves:** Biorremediación; cianuro; malva sylvestris; cecropia peltata.

## Abstract

Cyanide is the chemical substance mostly used for leaching gold in mining activity. Its high toxicity directly affects the organisms that develop around this industry, and the environment in general. In order to reduce the levels of free cyanide in effluents from mining, the work focused on determining the optimal conditions for cyanide biodegradation using the extracts of two types of native plants (*Cecropia peltata* L. and *Malva sylvestris*) of Ecuadorian Amazon. Synthetic samples with a concentration of 1mg / l CN<sup>-</sup> were prepared for the tests and two types of tests were applied: the first by crushing the leaves of the silver and the extraction in an alcoholic medium, and the second through dosing in a jug equipment. With crushing after a 5-day rest between crushed and water with a concentration of 1 mg / l with both plants, a removal percentage of 17% was obtained with *Malva sylvestris* and 12% with *Cecropia peltata* L. On the other hand, when dosing tests were obtained, removal rates of 14% and 11% were obtained with the aqueous extracts of *Malva sylvestris* and *Cecropia peltata* L respectively.

**Keywords:** Biorremediation; cyanide; malva sylvestris; cecropia peltata.

## Resumo

O cianeto é a substância química usada principalmente para lixiviar o ouro na atividade de mineração. Sua alta toxicidade afeta diretamente os organismos que se desenvolvem em torno dessa indústria e o meio ambiente em geral. Com o objetivo de reduzir os níveis de cianeto livre nos efluentes da mineração, o trabalho teve como objetivo determinar as condições ideais para a biodegradação de cianetos, utilizando os extratos de dois tipos de plantas nativas (Cecropia peltata L. e Malva sylvestris) de Amazônia equatoriana. Para os testes, foram preparadas amostras sintéticas com concentração de 1mg / l CN<sup>-</sup> e foram aplicados dois tipos de testes: o primeiro esmagando as folhas da planta e a extração em meio alcoólico, e o segundo através da dosagem em um equipamento de jarro. Com a trituração após um descanso de 5 dias entre a trituração e a água com uma concentração de 1 mg / l em ambas as plantas, foi obtida uma porcentagem de remoção de 17% com Malva sylvestris e 12% com Cecropia peltata L. Por outro lado, quando foram obtidos testes de dosagem, foram obtidas taxas de remoção de 14% e 11% com os extratos aquosos de Malva sylvestris e Cecropia peltata L, respectivamente.

**Palavras-chave:** Biorremediação; cianeto; malva sylvestris; cecropia peltata.

## Introducción

Durante el proceso de extracción de minerales, se utilizan como reactivos, grandes cantidades de mercurio y cianuro, los cuales resultan ser altamente tóxicos para el medio ambiente y los organismos que en él habitan. La contaminación ambiental con metales pesados y cianuro representan una de las principales problemáticas a nivel mundial. En el Ecuador por muchos años la minería artesanal y a mayor escala no ha sido controlada en temas ambientales y de salud, por lo que sus efluentes han sido descargados al ambiente sin ningún tipo de tratamiento. Generando un sin número de impactos negativos tanto en fuentes de agua, suelo, aire y al mismo ser humano (Puga, Sosa, Lebgue, Quintana, & Campos, 2006).

Los efluentes generados en el proceso de lixiviación de oro, presenta altas concentraciones de cianuro. (Guiza, 2011). La alta toxicidad del cianuro está relacionada con su especiación química,

siendo el cianuro en su forma libre (CN<sup>-</sup>)- el más perjudicial debido a su elevado potencial de inhibición metabólica. (Jumbo, 2014).

Actualmente, la industria minera emplea tres métodos para descontaminar efluentes cianurados: atenuación natural, degradación química y en menor medida la Biorremediación a través de consorcios de microorganismos (Jumbo, 2014). Los tratamientos y métodos tecnológicos convencionales que se utilizan para la depuración de efluentes cianurados representan un alto costo de inversión, ya que requieren de mucha energía, gran cantidad de reactivos químicos y pueden generar otros desechos igualmente tóxicos. Por lo que es necesario el desarrollo de tecnologías de Biorremediación que sean económicas, efectivas y amigables con el ambiente. (Fernández, 2007)

La presente investigación tiene como propósito la realización de pruebas preliminares para el desarrollo de una técnica de Biorremediación de efluentes cianurados provenientes del proceso de lixiviación de oro, mediante la utilización de extractos de plantas nativas (*Cecropia peltata* L. y *Malva sylvestris*) de la Amazonía ecuatoriana.

## **Materiales y Métodos**

### **Muestreo**

Las plantas fueron cultivadas en las instalaciones de la ESPOCH ubicada en la ciudad de Macas, cantón Morona, provincia de Morona Santiago. Se diseñaron parcelas en parcelas. El análisis químico de las muestras se realizó por absorción atómica en el Laboratorio de Análisis instrumental de la Universidad Técnica Particular de Loja (Tabla 1).

### **Tratamiento con lecho Machacado**

El tratamiento consiste en dejar reposar el agua sintética en un envase con lecho triturado de las plantas, producto de esta investigación para lo cual se seleccionaron las hojas que servirán para realizar el lecho filtrante, las hojas fueron machacadas en un mortero hasta que segreguen líquido, las hojas trituradas fueron puestas en un envase (lecho filtrante); se colocó el agua sintética en el envase hasta saturar el lecho (al mismo nivel de la hoja), después se dejar reposar el agua con el lecho filtrante, finalmente se realiza el análisis del cianuro en el agua de salida cada cinco días, este procedimiento se debe repetir por cinco veces.

## **Tratamiento por dosificación de extractos**

### **Obtención de extractos**

De las hojas de las plantas nativas, *Malva Sylvestri* y *Cecropia peltata* L., que crecen en los bosques tropicales de Morana, se obtuvo el extracto que actúa agente activo en la eliminación de CN-1, empleando las operaciones de clasificado, secado, triturado, tamizado, centrifugado y secado. Inicialmente se procedió a seleccionar las hojas de las plantas, eliminando ramas, tierra y hojas contaminadas con hongos e insectos. Las hojas seleccionadas fueron secadas en una estufa a 50°C por 24 horas, para posteriormente triturarlas en un molino. Las hojas trituradas fueron colocadas en un recipiente de vidrio y se adicionó Etanol como solvente, esta mezcla se deja reposar por 72 horas; filtrar el soluto del solvente; es decir retirar las hojas del líquido macerado, colocar el solvente filtrado en el rotavapor a una temperatura inicial de 65°C y aumentando progresivamente la temperatura hasta los 78°C (punto de ebullición del etanol); mantener la destilación hasta obtener un sustrato viscoso sin llegar a la sequedad; llevar a la estufa el extracto recogido a una temperatura de 50°C por 24 horas para llegar a la sequedad y obtener el extracto total en pasta.

### **Pruebas de dosificación**

Los ensayos de dosificación de extracto de malva y guarumbo se realizaron en un equipo de jarras colocando 500 ml del agua sintética (1mg/l de CN-) en un vaso de precipitación de 1000 ml, se reguló el pH a 10, con hidróxido de sodio (3 N), se trabajó a una temperatura de 20±5°C y agitación de 200 rpm. La caracterización del análisis químico de muestras de efluentes cianurados se observa en la tabla 1, como se presenta a continuación:

**Tabla 1:** Análisis químico de muestras de efluentes cianurados.

<b>Caracterización de agua residual</b>	
<b>pH</b>	7,65
<b>Conductividad</b>	101.7 $\mu$ S/cm
<b>Turbiedad</b>	1,38 NTU
<b>Color</b>	24 U Pt-Co
<b>Sólidos Totales Disueltos</b>	70,6 mg/L
<b>Fosfatos</b>	0,24 mg/L
<b>Nitratos</b>	9,5 mg/L
<b>Nitritos</b>	0,011 mg/L
<b>Hierro</b>	0,27 mg/L
<b>Sulfatos</b>	1 mg/L
<b>Cianuro</b>	0,003 mg/L
<b>Mercurio</b>	0,002 mg/L

Fuente: Notas de campo. **Elaboración propia**

## Resultados

En la Tabla 2 se refleja el resultado de la caracterización físico-química de las plantas.

**Tabla 2:** Caracterización físico-química de las plantas

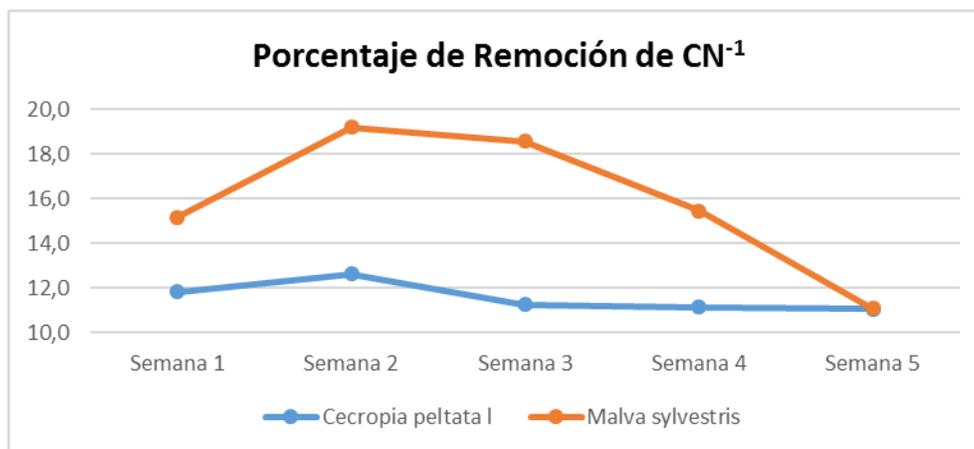
	<b>Cecropia peltata L.</b>	<b>Malva sylvestris</b>
<b>Conductividad (<math>\mu</math>S/cm)</b>	416,42	427,31
<b>pH</b>	8,17	8,19
<b>% humedad</b>	67,63	70,40
<b>% cenizas</b>	3,75	3,28
<b>% Carbono orgánico</b>	49,45	50,35

Fuente: Notas de campo. Elaboración propia

### Tratamiento con lecho Machacado

La Figura 1 muestra el porcentaje de remoción de CN- para el tratamiento biológico en matraces, utilizando como lecho las hojas de las plantas machacadas, para ambas plantas el mayor porcentaje de remoción se obtuvo a la segunda semana de tratamiento. Se evidencio un 19.2,% de remoción en el lecho de Malva sylvestris, mientras que con la Cecropia peltata l., se logró eliminar un 12.6% de CN-1. Según Hernández (2010) la degradación de cianuro se ve afectada por el pH, el cual debe ser estrictamente controlado entre 9,5 y 10. Por lo que durante todo el ensayo el pH se regulo a 10, presentando variaciones entre 9 y 10.5, lo cual está dentro del rango recomendado.

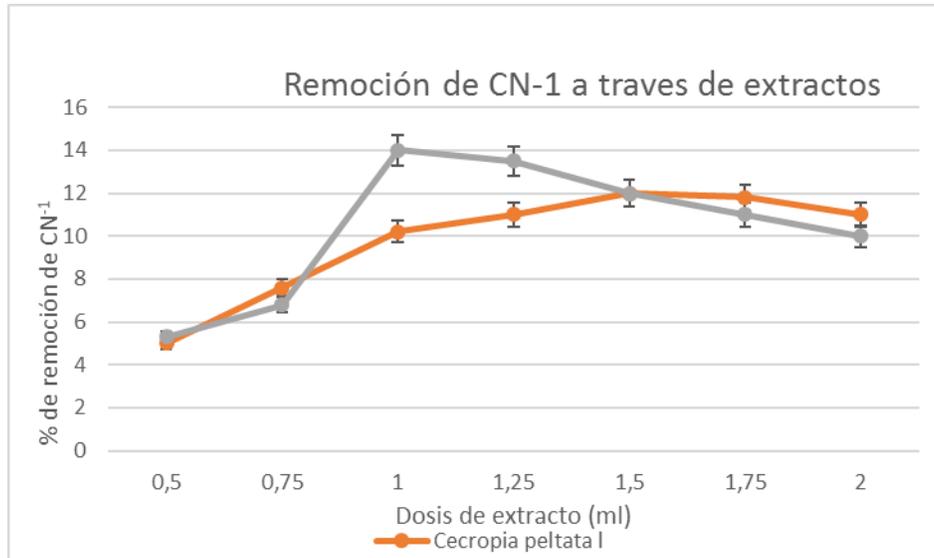
Figura 1: Porcentaje de remoción de CN-1 tratamiento con lecho machacado



Fuente: Datos tomados de notas de campo. Elaboración Autores (2020)

### Tratamiento por dosificación de extractos

La figura 2 muestra, el porcentaje de remoción de CN-1 a través de la adición de diferentes dosis de extracto de las plantas. Utilizando el extracto de la Malva Sylvestris al dosificar 1ml de extracto se obtuvo el 14% de remoción. Mientras que con el extracto de Cecropia peltata l., se eliminó el 12% de CN-1 al dosificar 1.5ml de extracto. Al igual que en el experimento anterior se regulo el pH en 10 presentando ligeras variaciones.

**Figura 2:** Porcentaje de remoción de  $\text{CN}^{-1}$  a través de extractos

**Fuente:** Datos tomados de notas de campo. Elaboración Autores (2020).

## Conclusión

La caracterización de las plantas *Cecropia peltata* l. y *Malva sylvestris* permitió conocer la bondad de estas para su utilización en la descontaminación de aguas residuales con cianuro, en este caso las plantas tienen similares características en humedad con un valor aproximado de 70%, cenizas 3%, materia orgánica 50%, donde la cantidad de carbono y el líquido mucilaginoso característico de las dos plantas atrapa las moléculas de cianuro. (Pantoja, 2001).

Con el machacado después de un reposo de 5 días entre machacado y agua con concentración de 0.1 mg/l con ambas plantas se obtuvo un porcentaje de remoción de 17% con la *Malva sylvestris* y con *Cecropia peltata* l, 12%. En cambio, al hacer pruebas de dosificación se obtuvieron porcentajes de remoción del 14% y 11% con los extractos acuosos de *Malva sylvestris* y *Cecropia peltata* l respectivamente. Esto respecto a los métodos tradicionales de tratamiento el porcentaje de remoción de cianuro es bajo, ya que, al aplicar métodos como oxidación ácida o carbón activado, estos remueven en un 80% la concentración de cianuro. (Aguilar, 2011).

Al realizar la comparación de cuál de las dos plantas ofrece el mejor porcentaje de remoción, se observa que la *Malva sylvestris* es la que mejor retención tiene respecto a la *Cecropia peltata* L, aunque sus porcentajes sean bajos, respecto a los métodos convencionales de tratamiento. Además, se puede utilizar directamente la planta en forma de machacado, ya que también se muestra que tiene mayor porcentaje de remoción respecto al método de dosificación. Por tanto, este tipo de tratamiento con las plantas estudiadas puede servir como un pre tratamiento para reducir costos, ya que este tipo de plantas son consideradas como “mala hierba”, y se encuentran en gran cantidad en la zona oriental del país.

## Referencias

1. Aguilar, F. (2011). Tratamiento de aguas contaminadas con Cianuro. Universidad Nacional de Ingeniería Lima-Perú, 38.
2. Fernández, B. (2007). Desarrollo de un nuevo método para la eliminación de cianuro de aguas residuales de mina. 208. Oviedo, España.
3. Guiza, L. (2011). Perspectiva jurídica de los impactos ambientales sobre los recursos hídricos provocados por la minería en Colombia. *Opinión Jurídica*, 55.
4. Hernández, S., & L, M. (2010). Evaluación de la capacidad de un aislado bacteriano nativo de *pseudomonas* sp. como potencial degradador de compuestos cianurados. 32-35.
5. Jumbo, P. (2014). Tratamiento químico y biológico de efluentes mineros cianurados procedentes del sector minero de Ponce Enríquez. Tesis de Ingeniería Química, Universidad Técnica Part.
6. Pantoja, F. (2001). Tecnologías apropiadas para disminuir la contaminación ocasionada por mercurio en la minería de oro. *Corponariño-colciencias a.a*, 1476.
7. Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera: Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. *Ecología Aplicada*, 149-155.

## References

1. Aguilar, F. (2011). Water treatment contaminated with Cyanide. National University of Engineering Lima-Peru, 38.

2. Fernández, B. (2007). Development of a new method for the removal of decianide from mine wastewater. 208. Oviedo, Spain
3. Guiza, L. (2011). Legal perspective of environmental impacts on water resources caused by mining in Colombia. *Legal Opinion*, 55.
4. Hernández, S., & L, M. (2010). Evaluation of the capacity of a bacterial isolate native to pseudomonas sp. as a degrading potential of cyanide compounds. 32-35.
5. Jumbo, P. (2014). Chemical and biological treatment of cyanide mining effluents from the Ponce Enriquez mining sector. Thesis of Chemical Engineering, Technical University Part.
6. Pantoja, F. (2001). Appropriate technologies to reduce pollution caused by mercury in gold mining. *Corponariño-colciencias a.a*, 1476.
7. Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2006). Heavy metal pollution in soil caused by the mining industry: Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. *Applied Ecology*, 149-155.

## Referências

1. Aguilar, F. (2011). Tratamento de água contaminado com cianeto. Universidade Nacional de Engenharia de Lima-Peru, 38 anos.
2. Fernández, B. (2007). Desenvolvimento de um novo método para a remoção de decianeto das águas residuais da mina. 208. Oviedo, Espanha.
3. Guiza, L. (2011). Perspectiva jurídica dos impactos ambientais nos recursos hídricos causados pela mineração na Colômbia. *Parecer jurídico*, 55.
4. Hernández, S., & L, M. (2010). Avaliação da capacidade de um isolado bacteriano nativo de pseudomonas sp. como um potencial degradante de compostos de cianeto. 32-35.
5. Jumbo, P. (2014) Tratamento químico e biológico de efluentes de mineração de cianeto do setor de mineração de Ponce Enriquez. Tese de Engenharia Química, Universidade Técnica.
6. Pantoja, F. (2001). Tecnologias apropriadas para reduzir a poluição causada pelo mercúrio na mineração de ouro. *Corponariño-colciencias a.a*, 1476.

7. Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C. e Campos, A. (2006). Poluição de metais pesados no solo causada pela indústria de mineração: Poluição de metais pesados em solos danificados pela indústria de mineração. *Ecologia Aplicada*, 149-155.

©2019 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).