

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

TRABAJO DE TITULACIÓN:

**DESARROLLO DE UNA TÉCNICA DE BIORREMEDIACIÓN PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE LA RECUPERACIÓN
DE ORO.**

Autor: Rivera Ortiz Harlyn Ruperto

Tutor: Ing. Benito Mendoza PhD.

Riobamba – Ecuador

Año 2018

CERTIFICACIÓN Y APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:
“DESARROLLO DE UNA TÉCNICA DE BIORREMEDIACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE LA RECUPERACIÓN DE ORO.”

Presentado por: Harlyn Ruperto Rivera Ortiz

Dirigida por: Ing. Benito Mendoza Trujillo. PhD

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Benito Mendoza PhD.

Tutor del Proyecto



Firma

Ing. María Fernanda Rivera. MsC.

Miembro del Tribunal



Firma

Ing. Mauro Jiménez MsC.


Miembro del Tribunal



Firma

Ing. Patricio Santillán MsC.

Presidente del Tribunal



Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del grado de **INGENIERO AMBIENTAL**. Con el tema: **“DESARROLLO DE UNA TÉCNICA DE BIORREMEDIACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE LA RECUPERACIÓN DE ORO.”**, ha sido elaborado por HARLYN RUPERTO RIVERA ORTIZ, el mismo que ha sido revisado y analizado en un cien por ciento con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que se encuentra apto para la presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.



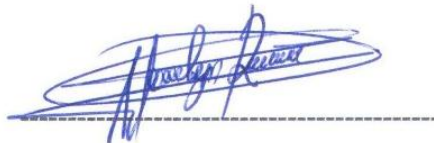
Ing. Benito Mendoza. PhD.

C.I: 060301386-3

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **HARLYN RUPERTO RIVERA ORTIZ**, con C.I. 140076564-8; soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y propuestas realizados en la presente investigación, titulada: **“DESARROLLO DE UNA TÉCNICA DE BIORREMEDIACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE LA RECUPERACIÓN DE ORO”**, dirigida por el Tutor del Proyecto, Ing. Benito Mendoza. PhD

En virtud de ello, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de conclusiones, con el aporte de varios autores que se han referenciado adecuadamente en el contenido del documento.



Harlyn Ruperto Rivera Ortiz

C.I: 140076564-8

AGRADECIMIENTO

Son muchas las personas que han contribuido a la realización y conclusión de este arduo camino, el cuál ha sido la carrera universitaria; y en especial en este trabajo de investigación los cuales voy a citar a continuación:

A mis padres porque con su sacrificio, voluntad, trabajo y buenas enseñanzas me inculcaron valores, además porque siempre han estado presentes en los buenos y malos momentos que he tenido a lo largo de mi vida y este no ha sido la excepción.

A mis hermanos Alexis, Adrian y Ángeles por ser mi apoyo y compañía en todo momento, por brindarme su amor y cariño incondicional y por siempre estar presentes cuando yo los he necesitado.

Al Ing. Benito Mendoza PhD, quien con su amistad, motivación, trabajo fuerte y orientación profesional ha sabido guiarme durante la carrera y durante todo el trabajo investigativo.

Al Dr. Juan Carlos Lara y al Ing. Roberto Délley por la ayuda prestada y por transmitir sus conocimientos hacia mi persona durante la realización de esta trabajo investigativo.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental porque de una u otra manera han aportado sus conocimientos hacia mi persona durante la carrera universitaria.

A los amigos y compañeros que formé a lo largo de toda la carrera universitaria por su compañía, amistad y por hacer más llevadero este proceso de aprendizaje.

A todos, mi eterno agradecimiento por haber contribuido al desarrollo personal, emocional y académico de quien suscribe.

Harlyn Rivera Ortiz

DEDICATORIA

El presente trabajo es fruto de un arduo proceso de aprendizaje en el cuál he tenido a mi lado a muchas personas que de una u otra manera han formado parte de esto, este trabajo va dedicado para ellos:

A mis padres Ruperto y Kety por ser quienes me dieron la vida, porque que a pesar de los duros momentos jamás me abandonaron, y siempre he contado con su apoyo y sabios consejos para todos los proyectos que tenga en mi vida.

A mi pareja y mi hijo, Brigitte y Martín; por ser el motor y la motivación que necesita toda persona para llegar a cumplir con sus objetivos, gracias por el amor, el cariño y sobre todo la paciencia que han tenido conmigo durante este tiempo.

A mis hermanos por estar siempre a mi lado apoyándome, dándome consejos y echándome buenas vibras, para lograr culminar mis estudios.

A todos mis familiares que con su apoyo incondicional y buenos consejos me han ayudado a terminar con éxito esta etapa de mi vida.

SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

Ppm: Partes Por Millón.

DAM: Drenaje Ácido de la Minería

CN: Cianuro

KCN: Cianuro de Potasio

INDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA | 3 |
| AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN | 4 |
| AGRADECIMIENTO..... | 5 |
| DEDICATORIA | 6 |
| SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS..... | 7 |
| RESUMEN | 13 |
| SUMMARY | 14 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 15 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 15 |
| 2. OBJETIVOS | 16 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL | 16 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 16 |
| 3. MARCO TEÓRICO..... | 17 |
| 3.1. Contaminación del agua | 17 |
| 3.2. Contaminación de agua por minería..... | 17 |
| 3.3. Minería..... | 17 |
| 3.4. Minería de oro | 18 |
| 3.5. Proceso de lixiviación en pilas..... | 18 |
| 3.6. Impactos en la minería | 18 |
| 3.7. Cianuro | 18 |
| 3.8. Cianuro de potasio | 19 |
| 3.9. El cianuro en la minería | 19 |
| 3.10. Cianuración de oro | 20 |
| 3.11. Contaminación por cianuro..... | 20 |
| 3.12. Formas de degradación del cianuro..... | 20 |

| | |
|--|-----------|
| 3.13. Biorremediación | 21 |
| 3.14. Extracto de plantas..... | 21 |
| 3.15. Machacado | 22 |
| 3.16. Rotavapor | 22 |
| 3.17. Prueba de dosificación (Prueba de jarras) | 22 |
| 4. METODOLOGÍA..... | 22 |
| 4.1 Método experimental..... | 22 |
| 4.2. Diseño experimental. | 23 |
| 4.3. Diseño experimental de parcela dividida..... | 24 |
| 4.4. Metodología de caracterización de las plantas..... | 24 |
| 4.4.1. Potencial de Hidrógeno (pH). | 24 |
| 4.4.2. Porcentaje de humedad..... | 24 |
| 4.4.3. Porcentaje de cenizas..... | 24 |
| 4.4.4. Porcentaje de Carbono orgánico..... | 25 |
| 4.5, Metodología de caracterización del agua. | 25 |
| 4.6. Metodología de obtención de extractos de plantas. | 26 |
| 4.6.1. Determinación del rendimiento de la extracción. | 27 |
| 4.7. Machacado | 27 |
| 4.8. Metodología para la tratabilidad del agua con lecho machacado..... | 28 |
| 4.9. Metodología de prueba de dosificación del extracto (Prueba de jarras).... | 28 |
| 4.10. Metodología de preparación del agua sintética. | 29 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 29 |
| 5.1. Resultados del diseño experimental. | 29 |
| 5.2. Resultados de la caracterización de la planta. | 30 |
| 5.3. Resultados de la caracterización del agua residual. | 32 |
| 5.4. Resultados de la curva de calibración del equipo HACH 5000..... | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 5.5. Resultados de remoción de cianuro en el agua residual por la técnica de machacado..... | 34 |
| 5.5.1. Resultados de la Semana I | 34 |
| 5.5.2. Resultados de la Semana II..... | 36 |
| 5.5.3. Resultados de la Semana III | 37 |
| 5.5.4. Resultados de la Semana IV. | 38 |
| 5.5.5. Resultados de la Semana V..... | 40 |
| 5.5.6. Tabla promedio de resultados. | 41 |
| 5.6. Resultados de remoción de cianuro en agua residual por dosificación | 42 |
| 5.7. Comparación de las dos técnicas utilizadas para la biorremediación del agua contaminada con Cianuro. | 44 |
| 6. CONCLUSIONES | 46 |
| 7. RECOMENDACIONES. | 47 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA | 47 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1. Curva de calibración del equipo HACH 5000 para medir Cianuro. | 33 |
| Figura 2. Resultados de Remoción de Cianuro con Cecropia peltata I. en la semana I..... | 35 |
| Figura 3. Resultados de Remoción de Cianuro con Malva sylvestris en la semana I. | 35 |
| Figura 4. Resultados de Remoción de Cianuro con Cecropia peltata I. en la semana II. | 36 |
| Figura 5. Resultados de Remoción de Cianuro con Malva sylvestris en la semana II. | 37 |
| Figura 6. Resultados de Remoción de Cianuro con Cecropia peltata I. en la semana III. | 38 |
| Figura 7. Resultados de Remoción de Cianuro con Malva sylvestris en la semana III. | 38 |
| Figura 8. Resultados de Remoción de Cianuro con Cecropia peltata I. | 39 |

| | |
|---|-----------|
| Figura 9. Resultados de Remoción de Cianuro con Malva sylvestris en la semana IV. | 39 |
| Figura 10. Resultados de Remoción de Cianuro con Cecropia peltata l. en la semana V. | 40 |
| Figura 11. Resultados de Remoción de Cianuro con Malva sylvestris en la semana V. | 41 |
| Figura 12. Promedio de remoción de Cianuro por la técnica de machacado para las dos plantas. | 42 |
| Figura 13. Resultados de remoción de Cianuro por técnica de dosificación para Cecropia peltata l. | 43 |
| Figura 14. Resultados de remoción de Cianuro por técnica de dosificación para Malva sylvestris. | 44 |
| Figura 15. Comparación de remoción de Cianuro por las dos técnicas entre Cecropia peltata l. y Malva sylvestris. | 45 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1. Metodología para caracterización de agua residual en laboratorio. | 25 |
| Tabla 2. Cantidad de cianuro y agua utilizada para crear el agua residual sintética. | 29 |
| Tabla 3. Diseño experimental en las parcelas de Cecropia peltata l. y Malva sylvestris | 29 |
| Tabla 4. Caracterización físico química de la planta Cecropia peltata l. | 31 |
| Tabla 5. Caracterización físico química de la planta Malva sylvestris | 31 |
| Tabla 6. Caracterización físico química del agua residual. | 32 |
| Tabla 7. Remoción de Cianuro en el agua sintética de las dos plantas y a diferente concentración. | 34 |
| Tabla 8. Remoción de Cianuro en el agua sintética de las dos plantas y a diferente concentración. | 36 |
| Tabla 9. Remoción de Cianuro en el agua sintética de las dos plantas y a diferente concentración. | 37 |
| Tabla 10. Remoción de Cianuro en el agua sintética de las dos plantas y a diferente concentración. | 38 |

| | |
|---|-----------|
| Tabla 11. Remoción de Cianuro en el agua sintética de las dos plantas y a diferente concentración | 40 |
| Tabla 12. Promedio de remoción de Cianuro en el agua sintética de las dos plantas y a diferente concentración..... | 41 |
| Tabla 13. Dosificación de extracto de <i>Cecropia peltata</i> l. y porcentaje de remoción de Cianuro en el agua sintética..... | 42 |
| Tabla 14. Dosificación de extracto de <i>Malva sylvestris</i> y porcentaje de remoción de Cianuro en el agua sintética..... | 43 |
| Tabla 15. Comparación de las dos técnicas utilizadas para remoción de Cianuro en el agua residual. | 45 |

RESUMEN

Los efluentes generados en la actividad minera contienen cantidades muy elevadas de metales pesados y cianuro, lo que implica un impacto en fuentes de agua, el vertido directo de efluentes contaminados a cuerpos hídricos es uno de éstos. En este contexto, sabiendo que los tratamientos y métodos tecnológicos que se utilizan en la recuperación de cianuro representan un alto costo de inversión se ha planteado la presente investigación. Existen diferentes tipos de biorremediación que tratan aguas residuales provenientes de diversas actividades, pero no existen estudios de biorremediación para agua contaminada con cianuro proveniente de la actividad minera, es por esto que la presente investigación tiene como propósito el desarrollo de una técnica de biorremediación para el tratamiento de agua residual proveniente de la recuperación de oro mediante la utilización de plantas nativas (*Cecropia peltata L.* y *Malva sylvestris*) planteando alternativas económicamente viables y ambientalmente seguras con tratamientos biológicos, que resulten amigables con el ambiente. En este sentido, se realizaron dos tipos de pruebas con las plantas, mediante el machacado y la extracción en medio alcohólico. 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.

Palabras clave:

Biorremediación, Cianuro, *Malva sylvestris*, *Cecropia peltata l*

Abstract

The effluents generated in mining activity contain very high amounts of heavy metals and cyanide, which implies an impact on water sources. One of these impacts is the direct discharge of contaminated effluents to water bodies. In this context, it is known that the treatments and technological methods that are used in the recovery of cyanide, represent a high cost of investment for this reason this research has been presented.

There are different types of bioremediation that treat wastewater from various activities, but there are no studies of bioremediation for contaminated water with cyanide from mining activity. For this reason this research aims the development of a technique of bioremediation for the treatment of residual water from the recovery of gold, through the use of native plants (*Cecropia peltata l.* and *Malva sylvestris*) posing alternatives economically viable and environmentally safe as well, with biological treatments, which are friendly to the environment. Two types of tests with plants were performed, using the crushed and alcoholic extraction. After a repose period of 5 days between crushed and water with concentration of 0.1 mg/l with both plants a 17% of removal percentage with the *Malva sylvestris* and *Cecropia peltata l.*, 12% was obtained. In contrast to the testing of dosage it was obtained 14% and 11% of removal percentage with the aqueous extracts of *Malva sylvestris* and *Cecropia peltata l* respectively.

Keywords: Bioremediation, Cyanide, Malva sylvestris, Cecropia peltata l



Reviewed by: Solís, Lorena

Language Center Teacher



1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental con metales pesados y cianuro representan una de las principales problemáticas a nivel mundial, ya que estos son generados por procesos industriales como: metalurgia, curtiembre, minería, producción de baterías, galvanizados (Núñez, 2013). Este tipo de compuestos son un riesgo, volviéndose tóxicos en altas concentraciones por la acumulación en los niveles de la cadena trófica (Mansilla, Lizama, Gutarra, & Rodríguez, 2012). En este contexto, desde varios años atrás se conoce los efectos que produce la contaminación por efecto de los desechos mineros, sobre todo por la descarga de efluentes con Mercurio y Cianuro de Potasio (Puga, Sosa, Lebgue, Quintana, & Campos, 2006).

Los efluentes generados en los distintos procesos de la actividad minera contienen cantidades muy elevadas de metales pesados y cianuro, lo que implica un impacto en fuentes de agua, suelo y aire; siendo uno de ellos, el vertido directo de efluentes contaminados a cuerpos hídricos, según manifiestan (Ospina, Montoya, & García, 2012). Por lo tanto una de las principales causas de la contaminación del agua son productos de las crecientes prácticas mineras, que presentan altos contenidos de cianuro, mercurio, arsénico y otros residuos derivados de estos procesos. El cianuro es utilizado ampliamente en la minería para la recuperación del oro, como consecuencia de esto el agua utilizada en este proceso estará contaminada y con un alto grado de toxicidad (Guiza, 2011).

Bermeo, 2005 afirma que los tratamientos y métodos tecnológicos que se utilizan en la recuperación de cianuro representan un alto costo de inversión, ya que requieren de mucha energía o gran cantidad de reactivos químicos y pueden generar otros desechos igualmente tóxicos.

La presente investigación tiene como propósito el desarrollo de una técnica de biorremediación para el tratamiento de agua residual proveniente de la recuperación de oro mediante la utilización de plantas nativas (*Cecropia peltata L.* y *Malva sylvestris*) planteando alternativas económicamente viables y ambientalmente seguras con tratamientos biológicos, o sea sin generar o añadir químicos al medio para evitar que estos residuos sean dispuestos directamente a los afluentes cercanos y resulte perjudicial para el ambiente.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación del agua por causa de la actividad minera es un problema que aqueja a nivel mundial sobre todo en países subdesarrollados en los cuales la minería se da en

pequeña o gran escala, las cuales no tienen el más mínimo cuidado ambiental y utilizan en sus procesos metales o sustancias que no se encuentran permitidas por la ley (Méndez , Ramírez , Gutiérrez , & García, 2009)

En la actualidad los residuos líquidos que son vertidos hacia la naturaleza, provenientes de la industria minera no tienen ningún tipo de tratamiento, las mismas que se encuentran contaminadas con metales pesados que son muy difíciles de asimilar por la naturaleza; es decir estas aguas sobrepasan la capacidad de auto recuperación de los cuerpos receptores, alterando sus características y provocando una inminente contaminación ambiental (Rosas, 2001)

Se ha avanzado en el tratamiento de contaminantes en agua para reducirlos a concentraciones permitidas y dar cumplimiento con especificaciones de vertido determinadas por los organismos competentes, sin embargo, uno de los problemas más serios está relacionado con las sustancias peligrosas tanto para el ambiente como para el ser humano (Pamo, Aduvire, & Baretino, 2002)

Existen diferentes tipos de biorremediación que tratan aguas residuales provenientes de diversas actividades, pero no existen estudios de biorremediación para agua contaminada con cianuro proveniente de la actividad minera, en Ecuador existen dos tipos de prácticas mineras; la primera de manera industrial y la segunda de manera artesanal, las cuales utilizan en mayor o menor cantidad metales pesados para la recuperación de oro dependiendo la escala de explotación, además cabe recalcar que no existe una metodología estándar de ningún tipo para remediar estas aguas, por tal motivo se desea realizar este proyecto para dejar precedentes de investigación del tema en cuestión.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Desarrollar una técnica de biorremediación con *Cecropia peltata L.* y *Malva sylvestris* para el tratamiento de agua residual proveniente de la recuperación de oro.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Realizar la caracterización físico-química del agua residual proveniente de la recuperación de oro

- ✓ Caracterizar las plantas *Cecropia peltata L.* y *Malva sylvestris*.
- ✓ Cuantificar el porcentaje de remoción de cianuro en el agua residual mediante una técnica artesanal y una técnica de laboratorio.
- ✓ Comparar los porcentajes de remoción de las técnicas utilizadas para verificar cuál es la que tiene mayor rendimiento.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Contaminación del agua

La contaminación hídrica o la contaminación del agua es una modificación de esta, generalmente provocada por el ser humano, que la vuelve impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales (Bermeo, 2005).

3.2. Contaminación de agua por minería

El Drenaje Ácido de la Minería (DAM) es el mayor problema ambiental provocado por la industria minera y es también su mayor pasivo, especialmente para nuestras corrientes de agua. Una mina generadora de ácido tiene el potencial para causar un impacto devastador a largo plazo en los ríos, arroyos y vida acuática, volviéndose en efecto, una “máquina” de contaminación perpetua (Guiza, 2011)

3.3. Minería

La minería es una actividad económica del sector primario representada por la explotación o extracción de los minerales que se han acumulado en el suelo y subsuelo en forma de yacimientos. Dependiendo del tipo de mineral a extraer la actividad se divide en minería metálica (cobre, oro, plata, aluminio, plomo, hierro, mercurio, etc.) que son empleados como materias primas básicas para la fabricación de una variedad de productos industriales. Mientras que la minería no metálica o también denominada de cantera y construcción (arcilla, cuarzo, zafiro, esmeralda, granito, mármol, mica, etc.) son usados como materiales de construcción y materia prima de joyería, ornamentación, entre otros usos. Otro tipo de minería, es la extracción de los minerales energéticos o combustibles, empleados principalmente para generar energía, como por ejemplo el petróleo, gas natural y carbón o hulla (Alguacil, 1995)

3.4. Minería de oro

La industria minera aurífera es una de las principales fuentes de contaminación por cianuro. Se encuentran altos niveles de esta sustancia en los alrededores de las explotaciones donde los desechos cianurados son descargados directamente al suelo y fuentes hídricas. Se han reportado accidentes por contaminación con cianuro en ecosistemas y poblaciones, alcanzando 2000 km del sitio de deposición. En Montana (USA) los contribuyentes continúan sufragando los multimillonarios costes de limpieza de las minas (no existe ningún modo sencillo y barato de limpiar viejas minas) dedicadas a la minería de filtrado de cianuro para la extracción de oro, los sobrantes son soluciones de cianuro ricas en metales tóxicos (Franco, Muñoz, & Vélez, 2010)

3.5. Proceso de lixiviación en pilas

La pila o PAD de lixiviación es una estructura a manera de pirámide escalonada donde se acumula el mineral extraído. A este material se le aplica, a través de un sistema de goteo, una solución cianurada la cual disuelve el oro. Mediante un sistema de tuberías colocadas en la base del PAD, la solución disuelta de oro y cianuro llamada solución rica pasa a una poza de lixiviación o procesos, desde donde se bombea hacia la planta de procesos (Piotrowski & Volmer, 2006)

3.6. Impactos en la minería

Los emprendimientos de extracción y procesamiento de minerales comprenden una serie de acciones que producen significativos impactos ambientales, que perduran en el tiempo, más allá de la duración de las operaciones de extracción de minerales. Los proyectos de este sector se relacionan con la extracción, transporte y procesamiento de minerales y materiales de construcción (Rosas, 2001)

3.7. Cianuro

El cianuro es un importante producto químico industrial que se produce a gran escala, el cual es usado en procesos mineros (extracción del oro), galvanoplastia, producción de plásticos, bronceado, síntesis química y otras industrias. Tales industrias descargan grandes cantidades de residuos ricos en cianuro, siendo un efluente altamente tóxico y peligroso (Kebeish, Aboelmy, El-Naggar, El-Ayouty, & Peterhansel, 2015)

3.8. Cianuro de potasio

El cianuro de potasio o KCN es una sal inorgánica denominada sal de potasio del cianuro de hidrógeno o ácido cianhídrico. Es altamente soluble en agua, en ácidos y bases, es insoluble en etanol o metanol, fatalmente tóxico por ingestión, el KCN tiene un olor como el de las almendras amargas, pero no todos pueden percibirlo porque la capacidad para ello se debe a un rasgo genético. Es una de las pocas sustancias que forman compuestos solubles con el oro formando un complejo cianurado, y por esto se usa en joyería para el dorado químico y para dar brillo a este metal (Kita, Nishikawa, & Takemoto, 2006)

Puede usarse en la minería de oro para extraer el metal de los minerales, aunque más comúnmente se usa cianuro de sodio. También se utiliza en la galvanoplastia como agente acomplejante de iones metálicos tales como el cinc, el níquel, el oro y la plata (Baxter & Cummings, 2006)

3.9. El cianuro en la minería

Muchas de las actividades industriales, como procesamiento de carbón, síntesis orgánica, placas de metal, y lixiviación de minerales, usan cantidades significativas de cianuro. Por ejemplo, la cianuración del mineral oxidado es una tecnología utilizada a escala industrial para la recuperación de plata y oro a partir de minerales oxidados y sulfurados concentrados. De 875 operaciones de oro y plata en el mundo, 460 utilizan cianuro, el 90% del oro que se produce en el mundo utiliza cianuro (Mudder, Botz, & Smith, 2001)

El cianuro es una sustancia muy utilizada en diversos procesos industriales, es un grupo de sustancias químicas que contienen carbono y nitrógeno y que bajo determinadas condiciones pueden resultar letales. Estas sustancias se encuentran en nuestro de dos formas: como sustancias químicas naturales o como compuestos producidos industrialmente, entre los que se destacan el cianuro de hidrógeno gaseoso y el cianuro de sodio y potasio (Piotrowski & Volmer, 2006)

El 100% del cianuro que se produce industrialmente a nivel mundial, tiene dos destinos preferentes: El 80% se utiliza esencialmente en la fabricación de químicos orgánicos como el nitrilo, el nylon y los plásticos acrílicos, y en una diversidad de procesos industriales, como la galvanoplastia, el procesamiento de metales, el endurecimiento del acero, la fabricación de telas sintéticas, las aplicaciones fotográficas, la producción de goma sintética, la elaboración de productos farmacéuticos, la producción de vendas

quirúrgicas, la fabricación de productos de uso agrícola para controlar las plagas de insectos, la fabricación de venenos que permiten la exterminación de roedores y depredadores portadores de cepas y virus letales. El 20% restante se utiliza para producir el cianuro de sodio y el cianuro de potasio, cuya manipulación es relativamente fácil y segura. De esta producción, sólo el 90% es utilizado en la actividad minera, por lo que podemos afirmar que del 100% de la producción mundial de cianuro, el 18% se utiliza en la actividad minera mundial (Ezzi & Lynch, 2005)

3.10. Cianuración de oro

La cianuración del oro (también conocida como el proceso de cianuro o el proceso de MacArthur-Forrest) es una técnica metalúrgica para la extracción de oro de mineral de baja calidad, que busca convertir el oro (insoluble en agua) en aniones metálicos complejos de aurocianida, solubles en agua, mediante un proceso denominado lixiviación. Es el proceso más comúnmente utilizado para la extracción de oro. Debido a la naturaleza venenosa del cianuro, el proceso es muy controvertido y su uso está prohibido en varios países y territorios (González & Pulido , 2004)

3.11. Contaminación por cianuro

El cianuro es un subproducto industrial o residual como compuestos de hierro-cianuro en fase sólida, cuya lixiviación con el tiempo puede dar lugar a la acumulación de cianuro en aguas subterráneas. En algunos sitios, como los de lixiviación galvanoplastia y extracción minera, otros complejos de metal-cianuro pueden ser formado debido a la presencia de otros metales como Cu y Ni. La distribución específica y los puntos críticos de cianuro a nivel industrial se dan por las características de los procesos de producción existentes, y también se determina por las condiciones ambientales que presenta el lugar en el pasado y el presente (Hernández & L, 2010)

3.12. Formas de degradación del cianuro

Se han evaluado estrategias para minimizar los impactos generados por el cianuro, el método más usado es mediante procesos físicos de exclusión, adsorción con carbón activado, tratamiento químico y recuperación de cianuro, o por el mantenimiento de los niveles dissociables de ácido débil (WAD) de cianuro por debajo de 50 mg L⁻¹ (Novak, y otros, 2013)

Existen sitios en todo el mundo como es el caso de Dakota del sur en Estados Unidos, Columbia Británica en Canadá que está contaminado con cianuro como resultado de la actividad industrial del pasado y derrames accidentales (Ezzi & Lynch, 2005)

La degradación del cianuro se puede dar por medio de los rayos ultravioleta (factor físico), también por tratamientos químicos y biológicos siendo este último el más sano para el ambiente (Kuyucak & Akcil, 2013). La eliminación de cianuro por tratamiento químico es generalmente más costosa que los procesos biológicos, pero permite una desintoxicación rápida, el tratamiento de cianuro con microorganismos para relaves y aguas residuales es una alternativa comprobada y viable a los procesos químicos (Gurbuz, Ciftci, & Akcil, 2009).

El tratamiento biológico, la adsorción con carbón activado, extracción con solvente, oxidación química con ozono y radiación ultravioleta son ampliamente utilizados en la remoción de complejos iónicos metálicos del cianuro, incluyendo complejos aniónicos estables como los del hierro (Kuyucak & Akcil, 2013)

3.13. Biorremediación

Se define como biorremediación a cualquier proceso que utilice microorganismos, hongos, plantas o las enzimas derivadas de ellos para retornar a un medio ambiente alterado por contaminantes a su condición natural. La biorremediación puede ser empleada para atacar contaminantes específicos del suelo, por ejemplo en la degradación bacteriana de compuestos organoclorados o de hidrocarburos. Un ejemplo de un tratamiento más generalizado es el de la limpieza de derrames de petróleo por medio de la adición de fertilizantes con nitratos o sulfatos para estimular la reproducción de bacterias nativas o exógenas (introducidas) y de esta forma facilitar la descomposición del petróleo (Adams Schroeder, Domínguez Rodríguez, & García Hernández, 1999)

3.14. Extracto de plantas

Los extractos de las plantas constituyen la fracción volátil de los principios activos contenidos en una planta, y por tanto, se obtienen mediante técnicas de destilación, en la que se volatilizan estos principios por calor, se condensan en frío y se recogen (Sánchez, 2006).

3.15. Machacado

La trituración es el nombre de los diferentes métodos de procesamiento de materiales. El triturado es también el nombre del proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por la molienda, como por moler los polvos en un mortero con un mazo. La trituración, además, se refiere a la producción de un material homogéneo a través de la mezcla (Sánchez, 2006)

3.16. Rotavapor

Rotavapor o evaporador rotatorio es un aparato de destilación rotatorio asociado a un Baño María que es usado principalmente en laboratorios de síntesis químicas, investigaciones en Bioquímica y análisis químico cualitativo y cuantitativo de extractos de naturaleza orgánica e inorgánica. Se utiliza principalmente para separar por medio de evaporación a presión reducida y suave, el solvente que acompaña al soluto de interés; o bien, para realizar destilaciones fraccionadas (Sirin & Tia, 2013)

3.17. Prueba de dosificación (Prueba de jarras)

Las pruebas en jarras se utilizan para determinar las dosis más efectivas de coagulante para un agua específica durante el control de la coagulación y floculación en una planta de tratamiento, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente. Se puede utilizar también con objeto de determinar las velocidades de sedimentación para el diseño de tanques de sedimentación y conocer el potencial del agua cruda para la filtración directa (Lorenzo-Acosta, 2006).

4. METODOLOGÍA.

4.1 Método experimental

El presente trabajo de investigación es experimental y se realizó en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, se ejecutaron dos técnicas de biorremediación, la artesanal y la de laboratorio; la primera técnica consiste en el machacado y la segunda consiste en el uso del rotavapor para obtener el extracto de las plantas.

El desarrollo de esta investigación se la efectuó mediante la metodología experimental, la cual es un tipo de método de investigación en el que el investigador controla deliberadamente las variables para delimitar relaciones entre ellas, está basado en la metodología científica. En este método se recopilan datos para comparar las mediciones de comportamiento de un grupo control, con las mediciones de un grupo experimental (León , y otros, 2003)

4.2. Diseño experimental.

Esta metodología experimental se cumplió mediante el diseño experimental, el cual es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas que variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación de causa-efecto. El diseño experimental encuentra aplicaciones en la industria, la agricultura, la mercadotecnia, la medicina, la ecología, las ciencias de la conducta, etc. constituyendo una fase esencial en el desarrollo de un estudio experimental (Clark - Carter, Parra, Rojas , & Parra, 2002)

Se tomaron las parcelas de *Cecropia peltata* y *Malva sylvestris*, en las cuales se diseñaron subparcelas para efectuar el muestreo y el diseño experimental, cada parcela se dividió en 12 subparcelas, posterior a esto se realizó un muestreo al azar (papeles numerados) en los cuales se tomó un papel para determinar las subparcelas que sirvieron para el estudio; como conclusión tenemos 6 subparcelas aleatorias para realizar los análisis, 3 subparcelas para control de los análisis y 3 parcelas ciegas que se utilizaron como testigos de los análisis

4.3.Diseño experimental de parcela dividida.

Un diseño de parcelas divididas es un experimento diseñado que incluye al menos un factor difícil de cambiar el cuál no se puede aleatorizar completamente debido a limitaciones de tiempo o costo. En un experimento de parcelas divididas, los niveles del factor difícil de cambiar se mantienen constantes durante varias corridas experimentales, las cuales se tratan colectivamente como una parcela completa. Los factores fáciles de cambiar se varían en estas corridas, y cada combinación se considera una parcela subdividida dentro de la parcela completa (Lozano , y otros, 2004).

Se diseñó las parcelas para sembrar las plantas de *Cecropia peltata* y *Malva sylvestris*, se tomaron tres parcelas de cada planta en las cuales se realizaron la siembra de las plantas; las parcelas de *Cecropia peltata* son de 12m² y las de *Malva sylvestris* son de 6 m², para posteriormente realizar el diseño experimental para muestreo.

4.4. Metodología de caracterización de las plantas

Se realizaron 5 repeticiones para las siguientes pruebas: pH, conductividad, porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas y determinación de carbono orgánico de cada planta en cuestión. La obtención de las muestras de las plantas se realizó en la ciudad de Macas, guardándolas en fundas herméticas para conservar en mayor porcentaje la humedad de las muestras para transportar al laboratorio en la ciudad de Riobamba.

4.4.1. Potencial de Hidrógeno (pH).

Se utilizó el método - MÉTODO 4500 H+ (STANDARD METHODS, 2005), para lo cual se cortó en trozos pequeños la muestra y se preparó una solución al 1.5% de agua destilada, dejando reposar por 24 horas para su lectura en el multiparámetros HACH HQ40d.

4.4.2. Porcentaje de humedad.

Se realizó por el método gravimétrico. Primero se tara el crisol, luego se pesar 5g de planta, se coloca la muestra en la estufa a 105 °C y se espera un lapso de 4 horas. Enfriar la cápsula en el desecador unos 20 minutos y pesar. Nuevamente introducir la muestra en la estufa durante 1 hora y dejar enfriar la cápsula en el desecador unos 20 minutos y pesar hasta llegar a peso constante. Para calcular el porcentaje de humedad se utiliza la ecuación (1):

$$\% \text{ H} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100 \quad (1)$$

Dónde: m₁ es la masa del crisol (gramos), m₂ es la masa del crisol con la muestra antes del secado (gramos), m₃ es la masa del crisol más la muestra desecada (gramos).

4.4.3 Porcentaje de cenizas.

Se determinó según el Método 2540.E (STANDARD METHODS, 2005). Colocar en el horno de mufla a 550 °C un crisol durante 15 minutos o más, sacar el crisol enfriarlo en un desecador durante al menos 1 hora y una vez enfriado a temperatura ambiente pesar hasta obtener peso constante, pesar 5 g de muestra en el crisol tarado, se ubica sobre la

placa de calentamiento y se incrementa lentamente la temperatura hasta que cese el desprendimiento de humo y las muestras aparezcan totalmente carbonizadas, de inmediato colocar el crisol en el interior de horno de mufla lo más cerca posible al centro e incinerar durante un lapso de 3 horas a 550° C. Sacar el crisol de la mufla y colocarlo en un desecador durante 1 hora y dejarlos enfriar. Una vez enfriado se pesa hasta llegar a peso constante, se registra los datos y se utiliza la siguiente ecuación (2) para obtener el % de ceniza:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} * 100 \quad (2)$$

Dónde: m_2 : masa en gramos de la cápsula con las cenizas, m_1 : masa en gramos de la cápsula con la muestra, m_0 : masa en gramos de la cápsula vacía.

4.4.4 Porcentaje de Carbono orgánico.

Se siguió el método propuesto por (Schulte & Hopkins, 1996). Se pesaron 5 g de muestra en crisoles de 15 mL, posteriormente fueron colocados en estufa durante 24 h a 105 °C. Las muestras fueron enfriadas en desecador y pesadas. Luego se colocaron durante 2 h en una mufla a 360 °C, posteriormente se transfirieron a un desecador y luego de enfriarse se registró el peso nuevamente. El cálculo de CO se realizó, según la ecuación (3):

$$\% \text{ CO} = \frac{P_{105^\circ\text{C}} - \text{peso } 360^\circ}{\text{peso } 105^\circ\text{C}} * 100 \quad (3)$$

Dónde: %CO= porcentaje de carbono orgánico, $P_{105^\circ\text{C}}$ = peso de la muestra a 105°C y $P_{360^\circ\text{C}}$ = peso de la muestra a 360°C.

4.5. Metodología de caracterización del agua.

El agua que se va a utilizar como referencia en esta investigación se obtuvo de una empresa minera de la provincia de Morona Santiago, cantón Gral. Plaza, parroquia Limón; la cual fue trasladada al laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH para realizar los respectivos análisis; los cuales se verán resumidos en la tabla 1.

Tabla 1. Metodología para caracterización de agua residual en laboratorio.

| PARAMETRO | METODOLOGIA |
|--------------------------------|---|
| pH | Standard Methods for the examination of the water & wastewater 4500-H ⁺ |
| Conductividad eléctrica | Standard Methods for the examination of the water & wastewater 2510 |

| | |
|--|--|
| Turbiedad | Standard Methods for the examination of the water & wastewater 2130 |
| Color | Standard Methods for the examination of the water & wastewater 2120 |
| Solidos Totales Disueltos (SDT) | Standard Methods for the examination of the water & wastewater 2540 |
| Fosfatos (PO₄) | Standard Methods for the examination of the water & wastewater 4500-P-E |
| Nitratos (NO₃) | Standard Methods for the examination of the water & wastewater 4500-NO ₃ ⁻ |
| Nitritos (NO₂) | Standard Methods for the examination of the water & wastewater 4500-NO ₂ ⁻ |
| Hierro (Fe) | Standard Methods for the examination of the water & wastewater 3500-Fe |
| Sulfatos (SO₄) | Standard Methods for the examination of the water & wastewater 4500-SO ₄ ²⁻ |
| Cianuro (CN⁻) | Standard Methods for the examination of the water & wastewater 4500-CN ⁻ |

Fuente: Autor

4.6. Metodología de obtención de extractos de plantas.

Para obtener los extractos de las plantas se usa la maceración, esta consiste en un proceso de extracción sólido-líquido, la materia prima que se usa en este proceso posee varios compuestos solubles en el líquido de extracción (alcohólico o acuoso) (Rivero, Rodríguez, Menéndez, Fernández, Barrio, & González, 2002). Este proceso genera dos subproductos, una fase sólida y otra líquida.. La naturaleza de los compuestos extraídos depende de la materia prima, así como del líquido de extracción, en este contexto, existen dos métodos de maceración que dependen de la temperatura: caliente y frío (Casassa, y otros, 2007).

Según González (2004) para obtener la extracción se realiza los siguientes pasos:
Clasificar las hojas eliminando las ramas y hojas contaminadas (hongos, insectos, etc.);
pesar las hojas seleccionadas (para al final del procedimiento determinar el rendimiento

de las hojas en relación a la obtención del extracto); secar las hojas en la estufa a 50°C (no se puede utilizar una temperatura más alta porque se pierden las propiedades de la planta); triturar las hojas con la ayuda de un molino; colocar las hojas trituradas en un recipiente de vidrio y verter el solvente (etanol) hasta cubrir toda la hoja que se está utilizando, esta mezcla se deja reposar por 72 horas; filtrar el soluto del solvente; es decir retirar las hojas del líquido macerado, teniendo en cuenta que las hojas se guardan para una próxima maceración; 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; recircular el alcohol obtenido de la destilación en el macerado inicial y repetir aproximadamente tres veces el mismo procedimiento con la misma cantidad de hojas; 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.

4.6.1. Determinación del rendimiento de la extracción.

Según Granados, Yáñez, & Acevedo (2013) el rendimiento de la extracción de cada una de las muestras se obtiene mediante la ecuación (4):

$$P = \frac{M_2}{M_1} * 100 \quad (4)$$

Dónde: P es porcentaje de rendimiento de la extracción; M₂ es masa final del aceite (kg); M₁ es masa inicial del material vegetal (kg).

4.7. Machacado

La trituración es el nombre de los diferentes métodos de procesamiento de materiales. El triturado es también el nombre del proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por la molienda, como por moler los polvos en un mortero con un mazo. La trituración, además, se refiere a la producción de un material homogéneo a través de la mezcla (Sánchez, 2006)

Se recolectan las muestras de las plantas que se van a utilizar en nuestra investigación, se procede a lavar las hojas que posteriormente se colocan en el crisol para con ayuda del mortero machacarlas y extraer sus líquidos y aceites para utilizar en el tratamiento de aguas residuales.

4.8. Metodología para la tratabilidad del agua con lecho machacado.

Para iniciar las pruebas de tratabilidad del agua con el lecho triturado, que consiste en dejar reposar el agua sintética en un envase con lecho triturado de las plantas producto de esta investigación se debe realizar lo siguiente:

1. Seleccionar las hojas que servirán para realizar el lecho filtrante;
2. triturar las hojas hasta que segregue líquido;
3. colocar las hojas trituradas en un envase (lecho filtrante);
4. colocar el agua sintética en el envase hasta saturar el lecho (al mismo nivel de la hoja);
5. dejar reposar el agua con el lecho filtrante;
6. realizar análisis de cianuro en el agua de salida cada cinco días;
7. repetir el procedimiento por cinco veces.

4.9. Metodología de prueba de dosificación del extracto (Prueba de jarras).

Según Suárez & Trujillo, 2011 Las pruebas en jarras se utilizan para determinar las dosis más efectivas de coagulante para un agua específica durante el control de la coagulación y floculación en una planta de tratamiento, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente. Para realizar la prueba de tratabilidad en jarras, para determinar la dosificación necesaria del extracto para depurar el agua contaminada con cianuro se realiza lo siguiente:

1. Obtener el extracto de las plantas en estudio;
2. colocar un vaso de 250 ml debajo de cada una de las paletas de agitación.
3. colocar el agua sintética en los vasos para su posterior análisis;
4. iniciar la dosificación de diferentes volúmenes de extracto en los distintos vasos, con cada pipeta, añadir el extracto en cantidades crecientes en vasos sucesivos.
5. colocar las paletas de agitación dentro de los vasos, arrancar el agitador y operarlo durante 1 min. a una velocidad de 60 a 80 rpm.
6. dejar reposar el agua;
7. extraer el agua de cada vaso para realizar los análisis respectivos.

4.10. Metodología de preparación del agua sintética.

En la elaboración del agua residual sintética el dato base fue el parámetro contenido de cianuro CN^- , para lo cual se tomaron en cuenta las concentraciones obtenidas en la caracterización del agua residual (Standard Methods 4500- CN^-) que en esta investigación se aplicó a concentración de 0,1 mg/L para determinar la eficacia y eficiencia de las plantas en estudio.

Se preparó el agua sintética mediante la disolución de una cierta cantidad de Estándar de Cianuro De 1000 ppm en 6 litros de agua (5 repeticiones por planta), así según su concentración se obtuvo agua residual de concentración de 0,1 mg/L. Las cantidades utilizadas de cianuro y agua como las unidades de cada concentración se expresan en la tabla 2.

Tabla 2. Cantidad de cianuro y agua utilizada para crear el agua residual sintética.

| Concentración | Cantidad de Cianuro (mL) | Cantidad de agua (L) | Concentración de cianuro (mg/L) |
|---------------|--------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Alta | 60 | 6 | 0,1 |

Fuente: Autor

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados del diseño experimental.

En la elaboración del diseño experimental, se realizó un muestreo aleatorio simple teniendo en cuenta la metodología a utilizar que anteriormente fue descrita; para lo cual tenemos los siguientes resultados en la tabla 3:

Tabla 3. Diseño experimental en las parcelas de *Cecropia peltata l.* y *Malva sylvestris*

| Parcelas de <i>Cecropia peltata l.</i> | | | | | |
|--|-----------------|-----------|--------|--------|--------|
| Descripción | Área | Perímetro | | | |
| PG1 | 6m ² | 10m | | | |
| PG1.1 | PG1.2 | PG1.3 | PG1.4 | PG1.5 | PG1.6 |
| PG1.7 | PG1.8 | PG1.9 | PG1.10 | PG1.11 | PG1.12 |

| | | | | | |
|--|--|------------------|--------|--------|--------|
| PG2 | 6m2 | 10m | | | |
| PG2.1 | PG2.2 | PG2.3 | PG2.4 | PG2.5 | PG2.6 |
| PG2.7 | PG2.8 | PG2.9 | PG2.10 | PG2.11 | PG2.12 |
| PG3 | 6m2 | 10m | | | |
| PG3.1 | PG3.2 | PG3.3 | PG3.4 | PG3.5 | PG3.6 |
| PG3.7 | PG3.8 | PG3.9 | PG3.10 | PG3.11 | PG3.12 |
| Parcelas de <i>Malva sylvestris</i> | | | | | |
| Descripción | Área | Perímetro | | | |
| PM1 | 12m2 | 14m | | | |
| PM1.1 | PM1.2 | PM1.3 | PM1.4 | PM1.5 | PM1.6 |
| PM1.7 | PM1.8 | PM1.9 | PM1.10 | PM1.11 | PM1.12 |
| PM2 | 12m2 | 14m | | | |
| PM2.1 | PM2.2 | PM2.3 | PM2.4 | PM2.5 | PM2.6 |
| PM2.7 | PM2.8 | PM2.9 | PM2.10 | PM2.11 | PM2.12 |
| PM3 | 12m2 | 14m | | | |
| PM3.1 | PM3.2 | PM3.3 | PM3.4 | PM3.5 | PM3.6 |
| PM3.7 | PM3.8 | PM3.9 | PM3.10 | PM3.11 | PM3.12 |
| | Muestras de control | | | | |
| | Muestras aleatorias para análisis de laboratorio | | | | |
| | Ciegas sirven para verificar los análisis | | | | |

Fuente: Autor

Como observamos en las tablas anteriores, ese fue el resultado para la elaboración del diseño experimental para el muestreo y posterior caracterización de los dos tipos de plantas.

5.2. Resultados de la caracterización de la planta.

Para la caracterización de las plantas *Cecropia peltata* l. (Guarumo) y *Malva sylvestris* (Malva) se tomó en cuenta la metodología de trabajo para determinar los diferentes parámetros de estudio tales como: pH, conductividad eléctrica, humedad, porcentaje de cenizas, carbono orgánico, etc.; para lo cual se tiene los siguientes resultados después de haberse aplicado los análisis a las diferentes muestras y tras haber obtenido una media de los resultados; luego de aplicados los diferentes procedimientos.

En las tablas 4 y 5 se reportan los resultados de la caracterización física-química de las plantas *Cecropia peltata l.* y *Malva sylvestris*, respectivamente

Tabla 4. Caracterización físico química de la planta *Cecropia peltata l.*

| Caracterización | | | | |
|--|-----------|------------------|------------------|---------------------------|
| Cecropia peltata l. | | | | |
| Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) | pH | % humedad | % cenizas | % Carbono orgánico |
| 416,42 | 8,17 | 67,63 | 3,75 | 49,45 |

Fuente: Autor

Tabla 5. Caracterización físico química de la planta *Malva sylvestris*

| Caracterización | | | | |
|--|-----------|------------------|------------------|---------------------------|
| Malva sylvestris | | | | |
| Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) | pH | % humedad | % cenizas | % Carbono orgánico |
| 427,31 | 8,19 | 70,40 | 3,28 | 50,35 |

Fuente: Autor

Las plantas presentan un pH básico. La conductividad es alta 416,42 $\mu\text{S/cm}$ y 427,31 $\mu\text{S/cm}$ respectivamente lo que representa que las dos plantas tienen una alta capacidad para transmitir energía. En el porcentaje de humedad las plantas presentan un valor de 67,63% y 70,40% respectivamente lo cual representa un alto contenido de agua. El porcentaje de cenizas es similar para las dos plantas, es decir las dos plantas guardan características similares en sus composiciones es de 3,75% y 3,28% respectivamente lo que indica que existe baja cantidad de materia inorgánica en las plantas. Finalmente el porcentaje de carbono orgánico presente en las dos plantas es 49,45% y 50,35% respectivamente, lo que significa que al menos la mitad de la composición de las plantas está representada por el contenido de carbono orgánico.

Con los resultados obtenidos se han determinado las características de las plantas para posteriormente llevarlas al laboratorio para realizar las extracciones para empezar con los diferentes análisis y pruebas para la biorremediación.

5.3. Resultados de la caracterización del agua residual.

Para realizar la caracterización del agua residual de nuestro estudio, proveniente de una empresa minera se tomó en cuenta la metodología que anteriormente fue descrita y que debe ser seguida; la caracterización es física y química para lo cual se tomaron en cuenta los parámetros más importantes teniendo en cuenta el origen del agua residual. En la tabla 6 se expresan los resultados de la caracterización del agua residual.

Tabla 6. Caracterización físico química del agua residual.

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

Fuente: Autor

Como se puede observar en el agua residual proveniente de la actividad minera el contenido de Cianuro es alto y estos valores se encuentran sobre el límite permisible estipulado por la legislación ecuatoriana. Referente a la conductividad, pH, turbiedad, etc, los valores se encuentran bajos debido a que estos parámetros se encuentran influenciados en los procesos mineros por la cantidad de metales pesados y cianuro principalmente.

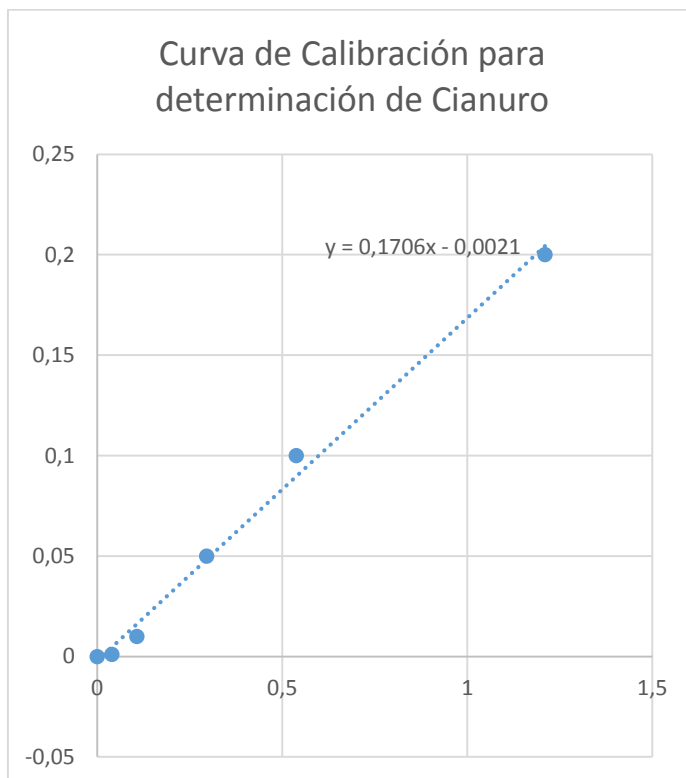
Luego de realizados los análisis del agua proveniente de la actividad minera se han iniciado las pruebas para determinar la eficiencia de los compuestos utilizados para disminuir el contenido de cianuro en el agua y así poder definir si las técnicas utilizadas para la biorremediación de esta agua está surtiendo efecto.

5.4. Resultados de la curva de calibración del espectrofotómetro HACH 5000.

Para efectos de este estudio se realizó una curva de calibración del equipo, la misma que fue realizada con estándares de diferente concentración a partir de un estándar de cianuro de 1000 ppm que está elaborado en base a una sal de Cianuro de Potasio, ésta curva de calibración muestra la absorbancia y la concentración en diferentes niveles, de tal manera que se dió el mejor ajuste para poder determinar la concentración de Cianuro en los análisis de las muestras de agua residual, muestras de plantas y en el agua tratada.

En la figura 1 se muestra la Curva de Calibración del equipo HACH 5000 para realizar las mediciones de Cianuro para este trabajo de investigación:

Figura 1. Curva de calibración del equipo HACH 5000 para medir Cianuro.



Fuente: Autor

En la figura 1 esta representada la curva de calibración del equipo HACH 5000, la cual luego de realizado todo el procedimiento de calibración, presenta un coeficiente de determinación de 99,96% por lo que se encuentra lista para iniciar las mediciones; esto

significa que el resultado que se obtenga de la absorbancia representa el valor real de la concentración de cada muestra.

5.5. Resultados de remoción de cianuro en el agua residual por la técnica de machacado.

Una vez caracterizadas las plantas y el agua se realizó el experimento en el cual utilizamos dos técnicas de biorremediación; la primera es la técnica de machacado que es la que vamos a hablar en esta sección.

Siguiendo la metodología planteada para el tratamiento del agua utilizaremos un lecho machacado de los dos tipos de plantas para verificar si existe remoción y en que cantidad ha sido removido el contaminante presente en el agua residual en este caso nos centramos en el cianuro.

Se realizaron pruebas durante cinco semanas seguidas, colocando el agua en el lecho machacado; iniciando el día lunes para posteriormente realizar los análisis para verificar si hubo remoción del contaminante del agua el día viernes; este procedimiento se realizó cinco semanas seguidas con tres repeticiones (tres muestras de cada planta); los resultados que se obtuvieron se detallan a continuación :

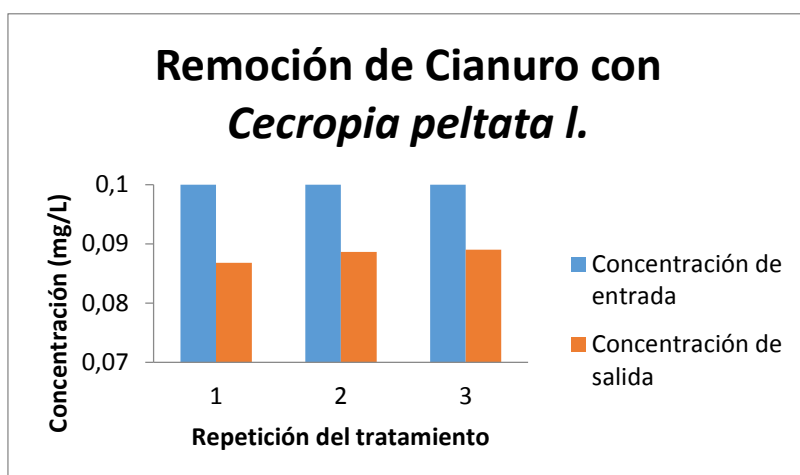
Resultados de la Semana I

Tabla 7. Remoción de Cianuro en el agua sintética de las dos plantas en la semana I.

| | <i>Cecropia peltata l</i> | <i>Malva sylvestris</i> |
|----------|---------------------------|-------------------------|
| Muestras | 0.1 ppm | 0.1 ppm |
| 1 | 0,0868 | 0,0846 |
| 2 | 0,0887 | 0,0853 |
| 3 | 0,0890 | 0,0846 |

Fuente: Autor

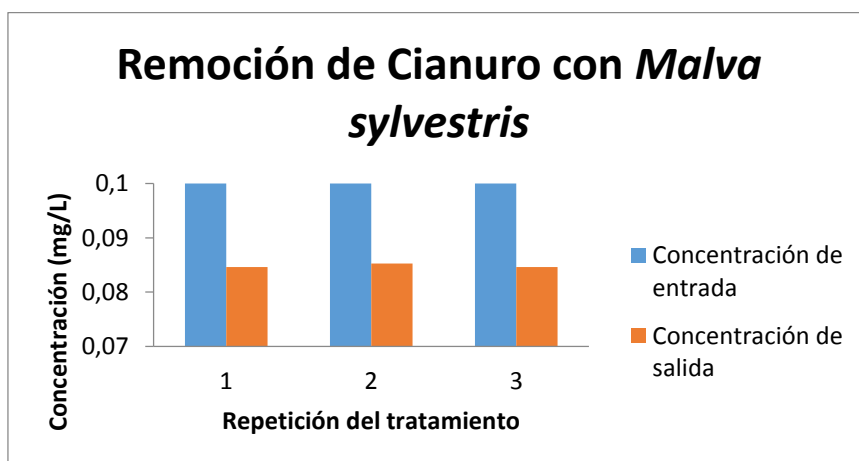
Figura 2. Resultados de Remoción de Cianuro con *Cecropia peltata l.* en la semana I.



Fuente: Autor

En la figura 2 se encuentra representada la remoción de Cianuro mediante la técnica de machacado, utilizando la planta *Cecropia peltata l.* durante la primera semana, en la cual se pueden observar según los resultados que la planta y la técnica sirven para remover Cianuro del agua residual; puesto que existe un promedio de remocion de aproximadamente 0,012 mg/L

Figura 3. Resultados de Remoción de Cianuro con *Malva sylvestris* en la semana I.



Fuente: Autor

En la figura 3 se encuentra representada la remoción de Cianuro mediante la técnica de machacado, utilizando la planta *Malva sylvestris* durante la primera semana, en la cual se pueden observar según los resultados que la planta y la técnica sirven para remover

Cianuro del agua residual, ya que se tiene un promedio de remoción de 0,013 mg/L aproximadamente.

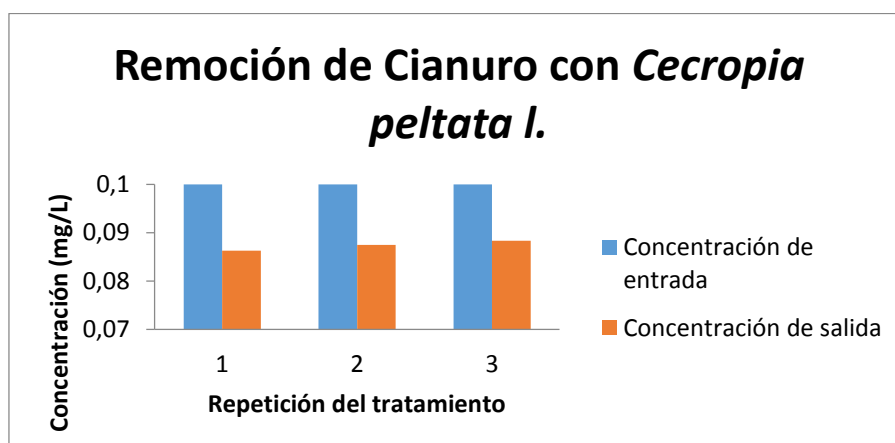
Resultados de la Semana II

Tabla 8. Remoción de Cianuro en el agua sintética de las dos plantas en la semana II

| | <i>Cecropia peltata l</i> | <i>Malva sylvestris</i> |
|----------|---------------------------|-------------------------|
| Muestras | 0.1 ppm | 0.1 ppm |
| 1 | 0,0863 | 0,0808 |
| 2 | 0,0875 | 0,0806 |
| 3 | 0,0883 | 0,0810 |

Fuente: Autor

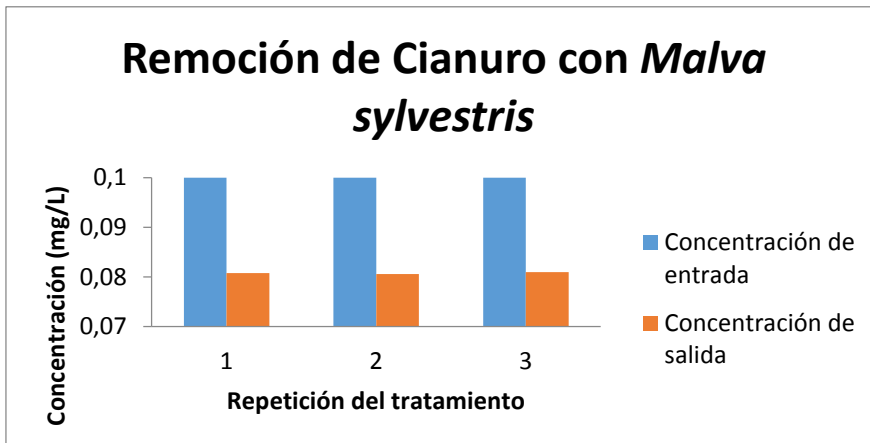
Figura 4. Resultados de Remoción de Cianuro con *Cecropia peltata l.* en la semana II.



Fuente: Autor

En la figura 4 se encuentra representada la remoción de Cianuro mediante la técnica de machacado, utilizando la planta *Cecropia peltata l.* durante la segunda semana en la que se han mantenido las mismas condiciones de tratamiento y se puede evidenciar que la planta sigue cumpliendo su objetivo, ya que se observa una remoción de aproximadamente 0,014 mg/L.

Figura 5. Resultados de Remoción de Cianuro con *Malva sylvestris* en la semana II.



Fuente: Autor

En la figura 5 podemos evidenciar que el tratamiento continua dando éxito, y se mantiene un nivel de remoción de contaminante promedio de 0,0190 mg/L, es decir va tomando la tendencia de que esta planta es mas eficiente que la otra en estudio porque tiene un nivel mas alto de remoción.

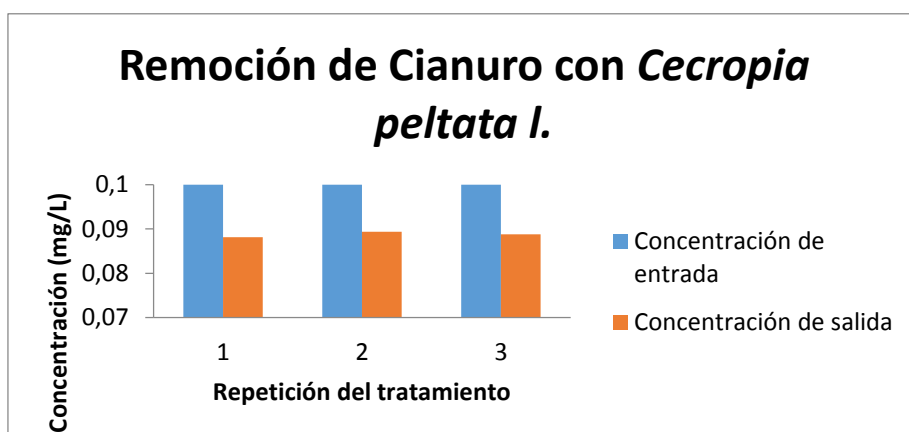
5.5.1. Resultados de la Semana III

Tabla 9. Remoción de Cianuro en el agua sintética de las dos plantas en la semana III.

| | <i>Cecropia peltata l</i> | <i>Malva sylvestris</i> |
|----------|---------------------------|-------------------------|
| Muestras | 0.1 ppm | 0.1 ppm |
| 1 | 0,0881 | 0,0820 |
| 2 | 0,0893 | 0,0823 |
| 3 | 0,0888 | 0,0800 |

Fuente: Autor

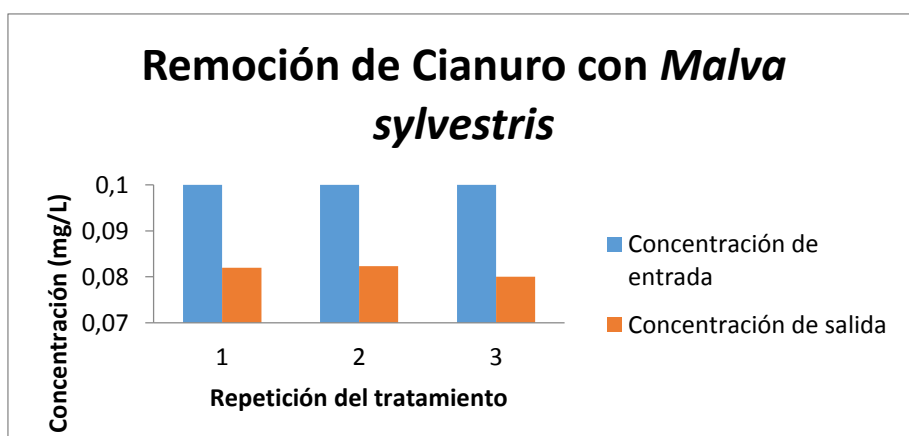
Figura 6. Resultados de Remoción de Cianuro con *Cecropia peltata l.* en la semana III.



Fuente: Autor

En la figura 6 se puede observar que el nivel de remoción de Cianuro en el agua residual se mantiene fluctuando entre los mismos valores ya que en la semana III se evidencia una remoción promedio de 0,012 mg/L para *Cecropia peltata l.*

Figura 7. Resultados de Remoción de Cianuro con *Malva sylvestris* en la semana III.



Fuente: Autor

En la figura 7 se observa que existe remoción del contaminante en estudio en un promedio de 0,014 mg/L, por lo cuál la tendencia de remoción continua fluctuante en las mismas cantidades semana tras semana.

5.5.2. Resultados de la Semana IV.

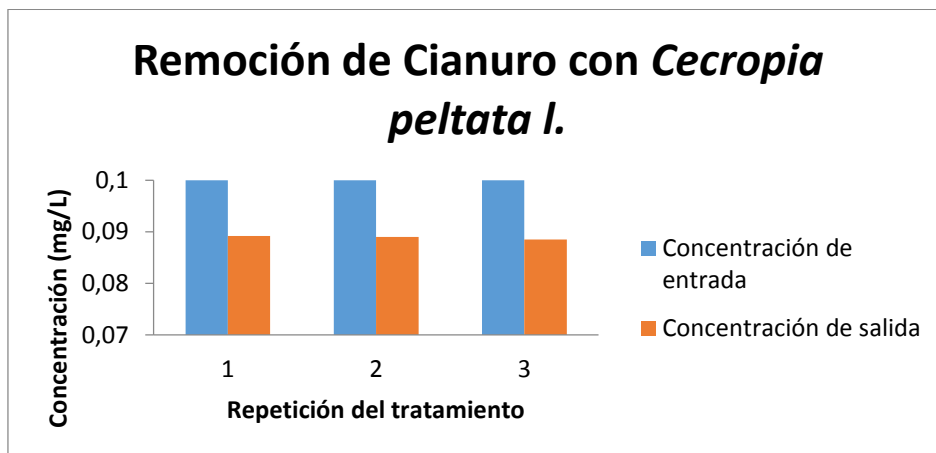
Tabla 10. Remoción de Cianuro en el agua sintética de las dos plantas en la semana IV.

| | <i>Cecropia peltata l</i> | <i>Malva sylvestris</i> |
|----------|---------------------------|-------------------------|
| Muestras | 0.1 ppm | 0.1 ppm |
| 1 | 0,0891 | 0,0845 |

| | | |
|---|--------|--------|
| 2 | 0,0890 | 0,0833 |
| 3 | 0,0884 | 0,0858 |

Fuente: Autor

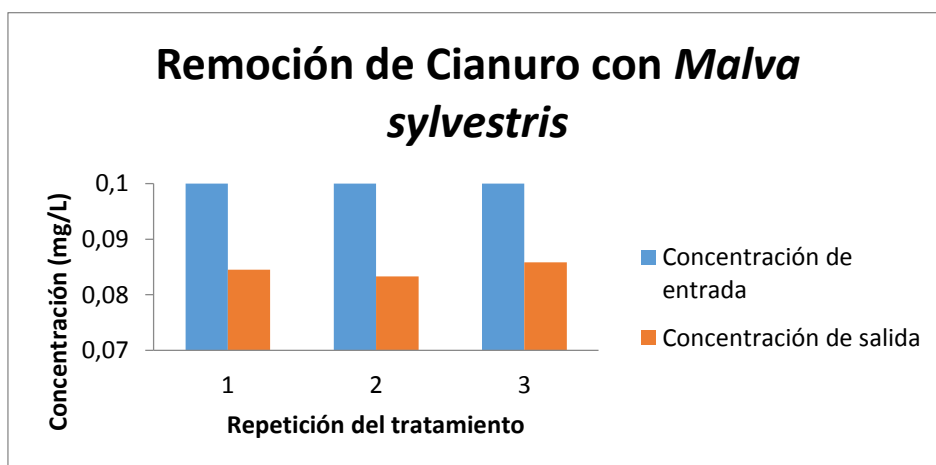
Figura 8. Resultados de Remoción de Cianuro con *Cecropia peltata l.*



Fuente: Autor

En la figura 8 se observa que existe remoción de Cianuro de 0,012 mg/L para *Cecropia peltata l.*, es decir el tratamiento esta cumpliendo con su objetivo que es el de remover Cianuro en agua residual proveniente de minería.

Figura 9. Resultados de Remoción de Cianuro con *Malva sylvestris* en la semana IV.



Fuente: Autor

En la figura 9 se evidencia que existe remoción de Cianuro con un promedio de las tres repeticiones de 0,016 mg/L, es decir esta planta tiene mayor eficiencia que la otra en cuestión ya que semana tras semana presenta mejores promedios de remoción del contaminante del agua residual.

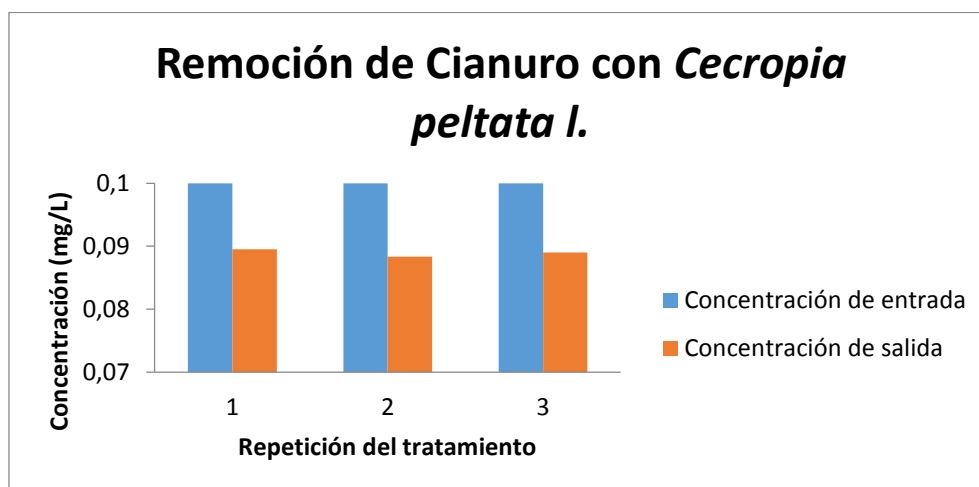
5.5.3. Resultados de la Semana V

Tabla 11. Remoción de Cianuro en el agua sintética de las dos plantas en la semana V.

| | <i>Cecropia peltata l</i> | <i>Malva sylvestris</i> |
|----------|---------------------------|-------------------------|
| Muestras | 0.1 ppm | 0.1 ppm |
| 1 | 0,0895 | 0,0895 |
| 2 | 0,0883 | 0,0884 |
| 3 | 0,0890 | 0,0888 |

Fuente: Autor

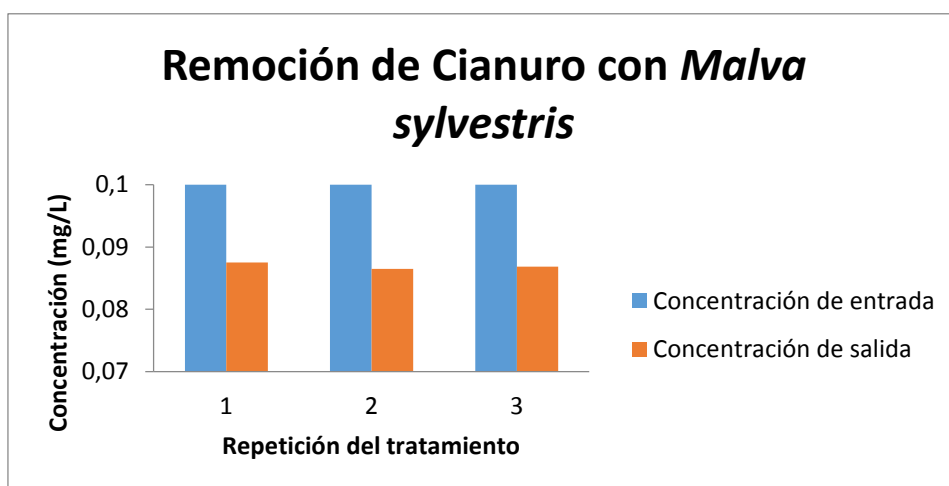
Figura 10. Resultados de Remoción de Cianuro con *Cecropia peltata l.* en la semana V.



Fuente: Autor

En la figura 10 está representada la remoción del contaminante en el agua residual en sus tres repeticiones, y en cada una de ellas se evidencia que existe remoción, haciendo promedio entre las repeticiones se encuentra que existe remoción de 0,012 mg/L de Cianuro lo cual cumple el objetivo de esta investigación

Figura 11. Resultados de Remoción de Cianuro con *Malva sylvestris* en la semana V.



Fuente: Autor

En la figura 11 se representa la remoción del contaminante en la semana V utilizando la planta *Malva sylvestris* en la que se puede observar que en cada una de sus repeticiones de tratamiento existe remoción del contaminante, lo que se ha venido repitiendo en los tratamientos semana tras semana.

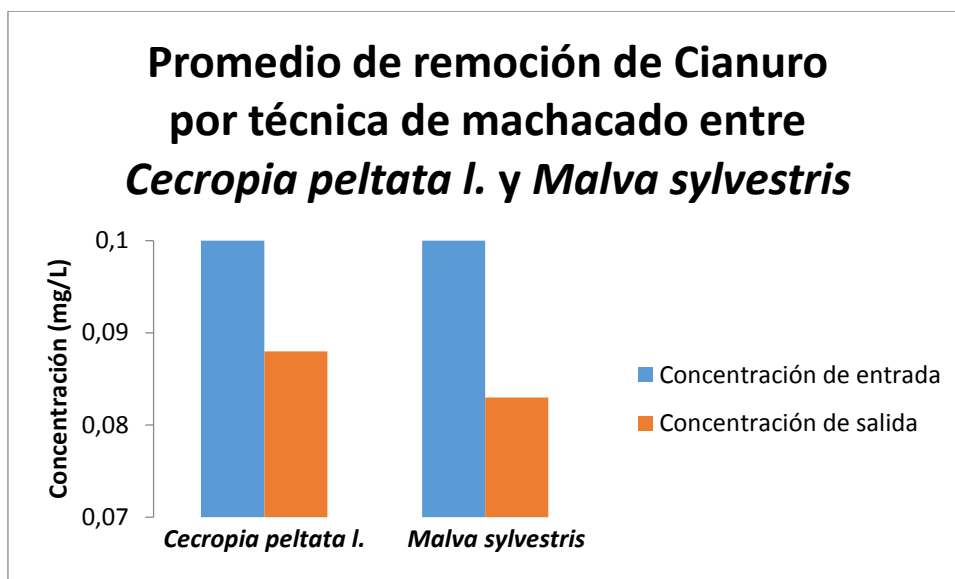
5.5.4. Tabla promedio de resultados.

Tabla 12. Promedio de remoción de Cianuro en el agua sintética de las dos plantas y a diferente concentración.

| | <i>Cecropia peltata l</i> | <i>Malva sylvestris</i> |
|---------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Concentración de entrada | 0.1 ppm | 0.1 ppm |
| Concentración de salida | 0,088 ppm | 0,083 ppm |
| % Remoción | 12% | 17% |

Fuente: Autor

Figura 12. Promedio de remoción de Cianuro por la técnica de machacado para las dos plantas.



Fuente: Autor

En las tablas antes descritas podemos verificar la remoción de Cianuro en el agua residual y en función de las diferentes plantas utilizadas; como se observa en la tabla promedio y tomando como referencia la curva de calibración podemos identificar que si existe remoción de Cianuro en las muestras de concentración de 0,1 mg/L.

Así mismo mediante la figura 12 podemos observar que entre las dos plantas en estudio existe una mayor eficiencia por parte de la *Malva sylvestris* en comparación con la *Cecropia peltata l.*; pero lo más importante es que sí se observa remoción de cianuro en agua proveniente de actividades mineras mediante la técnica de machacado.

5.6. Resultados de remoción de cianuro en agua residual por dosificación

Una vez realizado todo el procedimiento para la obtención del extracto de las plantas, que es la base principal para esta parte de la investigación, se procede a realizar las pruebas de dosificación para determinar si existe remoción de cianuro del agua residual proveniente de actividades mineras y cuál es la cantidad necesaria de extracto para que exista remoción.

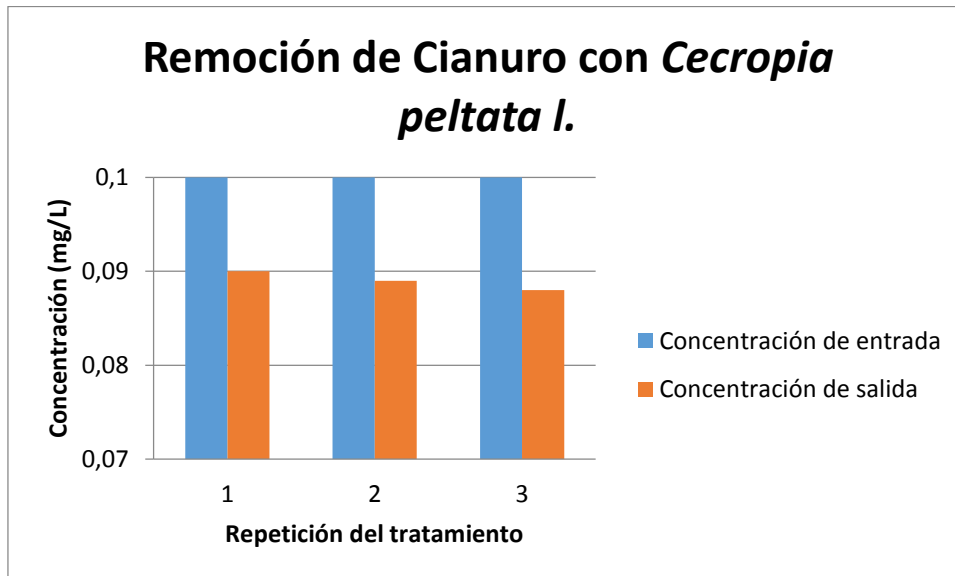
Tabla 13. Dosificación de extracto de *Cecropia peltata l.* y porcentaje de remoción de Cianuro en el agua sintética.

| Concentración de entrada | Dosificación de extracto | Concentración de salida | Remoción de CN ⁻ | Porcentaje de remoción de CN ⁻ |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|---|
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|---|

| | | | | |
|----------------|--------|-----------|-----------|-----|
| 0,1 ppm | 1,5 ml | 0,090 ppm | 0,010 ppm | 10% |
| 0,1 ppm | 1,5 ml | 0,089 ppm | 0,013 ppm | 11% |
| 0,1 ppm | 1,5 ml | 0,88 ppm | 0,012 ppm | 12% |

Fuente: Autor

Figura 13. Resultados de remoción de Cianuro por técnica de dosificación para *Cecropia peltata l.*



Fuente: Autor

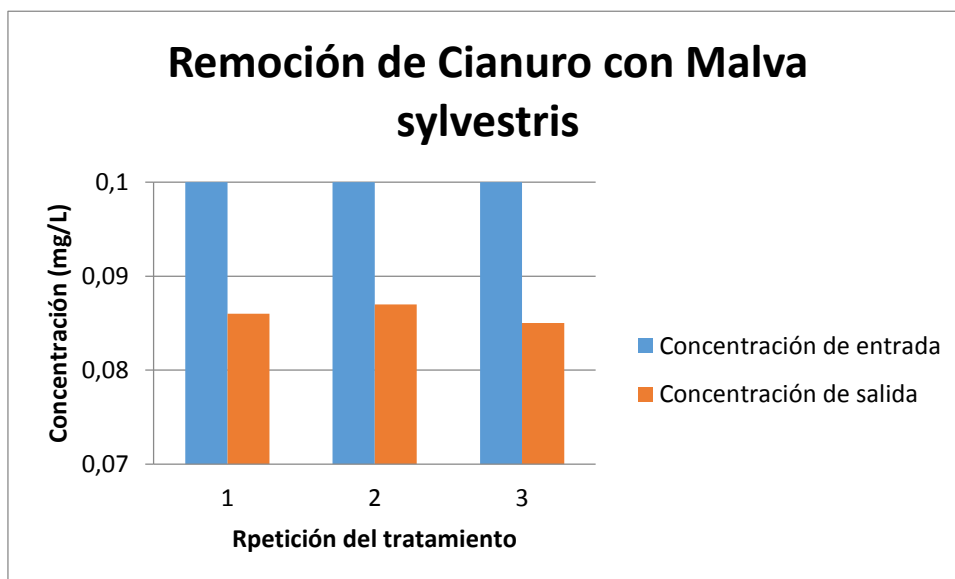
En la figura 13 se observa la remoción de Cianuro utilizando la planta *Cecropia peltata l.* con la técnica de dosificación, en la que al añadir 1,5 ml de extracto de la planta y realizando tres repeticiones del mismo procedimiento se evidencia remoción de un promedio de 11% de concentración de Cianuro en el agua residual.

Tabla 14. Dosificación de extracto de *Malva sylvestris* y porcentaje de remoción de Cianuro en el agua sintética.

| Concentración de entrada | Dosificación de extracto | Concentración de salida | Remoción de CN ⁻ | Porcentaje de remoción de CN ⁻ |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|---|
| 0,1 ppm | 1 ml | 0,086 ppm | 0,014 ppm | 14% |
| 0,1 ppm | 1 ml | 0,087 ppm | 0,013 ppm | 13% |
| 0,1 ppm | 1 ml | 0,085 ppm | 0,015 ppm | 15% |

Fuente: Autor

Figura 14. Resultados de remoción de Cianuro por técnica de dosificación para *Malva sylvestris*.



Fuente: Autor

En la figura 14 se encuentra representada la remoción de Cianuro del agua residual de minería utilizando la planta *Malva sylvestris* mediante la técnica de dosificación del extracto de la planta en cuestión, luego de realizadas las pruebas se determinó que al añadir 1 ml de extracto de la planta y con tres repeticiones existe una remoción de 14% del contaminante.

Los resultados obtenidos en la segunda parte de esta investigación que es por el método de dosificación del extracto de las plantas arroja resultados positivos, pero el extracto de *Malva sylvestris* resulta ser más eficiente que el extracto de *Cecropia peltata l.* puesto que como indican las tablas; al añadir 1,5 ml de extracto de *Cecropia peltata l.* existe una remoción del 11%, en cambio al añadir 1 ml de extracto de *Malva sylvestris* la remoción es del 14%; pero se logra el objetivo que era lograr la remoción de Cianuro del agua sintética.

5.7. Comparación de las dos técnicas utilizadas para la biorremediación del agua contaminada con Cianuro.

Con los resultados que se han obtenido y cumpliendo con los objetivos de esta investigación, el siguiente era la comparación de los mismos para así poder determinar

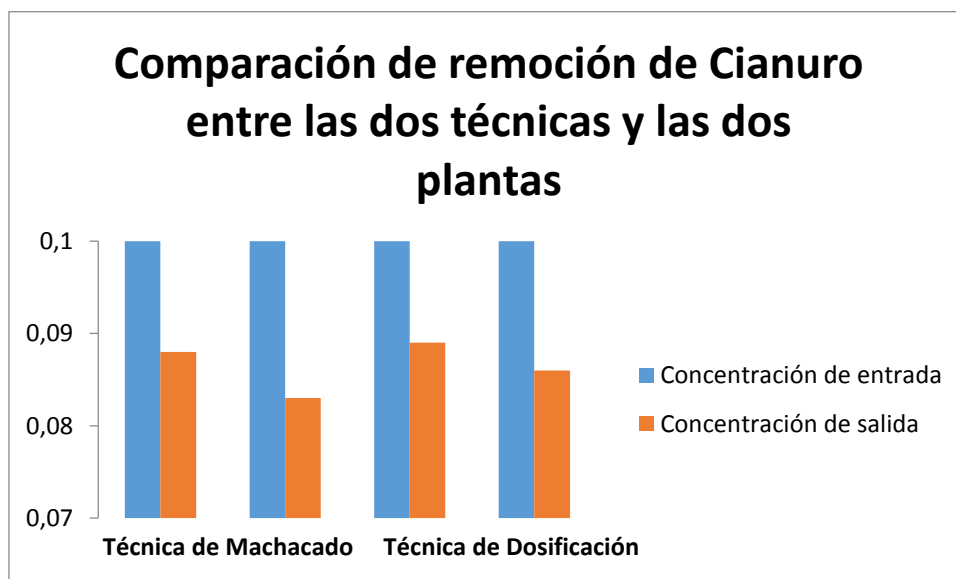
cuál es la técnica que tuvo mayor rendimiento y eficiencia; la tabla 15 que se presenta a continuación hace la comparación respectiva:

Tabla 15. Comparación de las dos técnicas utilizadas para remoción de Cianuro en el agua residual.

| | Técnica utilizada | | | |
|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|
| | Machacado | | Dosificación | |
| | <i>Cecropia peltata l.</i> | <i>Malva sylvestris</i> | <i>Cecropia peltata l.</i> | <i>Malva sylvestris</i> |
| Concentración de entrada | 0,1 ppm | 0,1 ppm | 0,1 ppm | 0,1 ppm |
| Concentración de salida | 0,088 ppm | 0,083 ppm | 0,089 ppm | 0,086 ppm |
| Remoción | 0,012 ppm | 0,017 ppm | 0,011 ppm | 0,014 ppm |
| % de Remoción | 12% | 17% | 11% | 14% |

Fuente: Autor

Figura 15. Comparación de remoción de Cianuro por las dos técnicas entre *Cecropia peltata l.* y *Malva sylvestris*



Fuente: Autor

Como podemos observar tanto en la tabla 15 como en la figura 15, por las dos técnicas utilizadas existe remoción del contaminante, pero la que mayor eficiencia tuvo fue la

técnica del lecho machacado, ya que tuvo mayor porcentaje de remoción del contaminante; cabe recalcar que así mismo en la técnica del machacado la planta con mayor rendimiento fue la *Malva sylvestris* puesto que tuvo un porcentaje de remoción mayor que el de la *Cecropia peltata l.*

Además lo que se puede determinar con la tabla es que la planta *Malva sylvestris*, tanto en la técnica de machacado como en la técnica de dosificación tiene mayor eficiencia de remoción que la planta *Cecropia peltata l.* ya que presenta mayores porcentajes de remoción por los dos métodos.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a la metodología utilizada en este estudio se determinó que el agua residual proveniente de la minería artesanal contiene valores de 0,002 mg/L para Mercurio y 0,003 mg/L para Cianuro, esto implica que si este residuo acuoso es vertido a los lechos de los ríos o suelos, produce contaminación, con la consecuente pérdida de biodiversidad y acumulación de este tipo de compuestos en plantas que son destinadas para el consumo humano. El resto de parámetros es característico de aguas limpias, por lo que es necesario el control de este tipo de efluentes de manera periódica por parte de las autoridades.

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)

En este sentido, se realizaron dos tipos de pruebas con las plantas, mediante el machacado y la extracción en medio alcohólico. 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 pretratamiento 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.

7. RECOMENDACIONES.

Es recomendable realizar un estudio con un sistema de tratamiento completo para remoción de cianuros en aguas residuales, para de esta manera identificar en qué fase del mismo se debe aplicar el tratamiento con las plantas nativas estudiadas.

8. BIBLIOGRAFÍA

HACH. (2000). MANUAL DE ANALISIS DE AGUA. *MANUAL DE ANALISIS DE AGUA Segunda edicion en español*. Loveland, Colorado, EE.UU.

Adams Schroeder, R., Domínguez Rodríguez, V., & García Hernández, L. (1999). Potencial de la biorremediación de suelo y agua impactados por petróleo en el trópico mexicano. *Terra Latinoamericana*, 17(2).

Aguilar , F. (2011). Tratamiento de aguas contaminadas con Cianuro. *Universidad Nacional de Ingeniería Lima-Perú*, 38.

Alguacil, F. (1995). El refinado de oro. *Revista de Metalurgia* 31(3), 182-191.

Baxter, J., & Cummings, S. (2006). The impact of bioaugmentation on metal cyanide degradation and soil bacteria community structure. *Biodegradation*, 207-217.

Bermeo, A. (2005). *Agua - Sanamiento - Asentamientos Humanos* . Quito: Ministerio del Ambiente.

Casassa, F., Sari, S., Avagnina, S., Días, M., Jofré, V., Fanzone, M., y otros. (2007). Influencia de dos técnicas de maceración sobre la composición polifenólica, aromática y las características organolépticas de vinos cv. Merlot. *Revista Internet de Viticultura y Etologia*, 4 (3), 1-14.

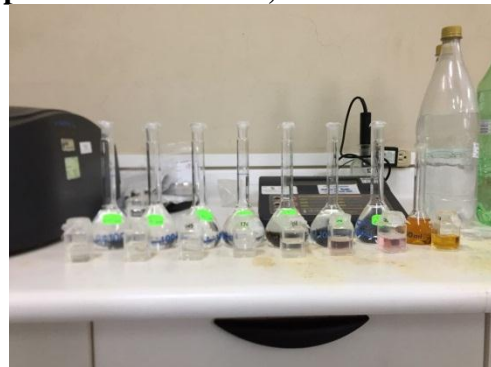
- Clark** - Carter, D., Parra, E., Rojas , E., & Parra, Y. (2002). Investigación cuantitativa en psicología: del diseño experimental al reporte de investigación.
- Ezzi**, M., & Lynch, J. (2005). Biodegradation of cyanide by *Trichoderma* spp. and *Fusarium* spp. *Enzyme and microbial technology*, 849-854.
- Flores** Gorosquera, E., García Suárez, F., Flores Huicochea, E., Núñez Santiago, M., González Soto, R., & Bello Pérez, L. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. . *Acta Científica Venezolana*, 55(1), 86-90.
- Franco**, A., Muñoz, D., & Vélez, H. (2010). Conflictos Socio ambientales para la extracción minera en Colombia. *Caso de la inversión Británica. Amigos de la tierra Colombia*, 12.
- González** , L., & Pulido , J. (2004). Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en la planta de beneficio de la empresa Mineros Nacionales. *Medellín*, 77.
- González**, Á. A. (2004). Obtención de aceites esenciales y extractos etanólicos de plantas del Amazonas. *Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales*, 12.
- Granados**, C., Yáñez, X., & Acevedo , D. (2013). Evaluación de la Actividad Antioxidante del Aceite Esencial Foliar de *Myrcianthes leucoxylla* del Norte de Santander (Colombia). *La Serena*, 25 (3).
- Guiza**, L. (2011). Perspectiva jurídica de los impactos ambientales sobre los recursos hídricos provocados por la minería en Colombia. *Opinión Jurídica*, 55.
- Gurbuz**, F., Ciftci, H., & Akcil, A. (2009). Biodegradation of cyanide containing effluents by *Scenedesmus obliquus*. *Journal of hazardous materials*, 162(1), 74-79.
- Gurbuz**, F., Ciftci, H., Akcil, A., & Karahan, A. (2004). Microbial detoxification of cyanide solutions: a new biotechnological approach using algae. *Hydrometallurgy*, 167-176.
- 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.
- Kebeish**, R., Aboelmy, M., El-Naggar, A., El-Ayouty, Y., & Peterhansel , C. (2015). Simultaneous overexpression of cyanidase and formate dehydrogenase in *Arabidopsis thaliana* chloroplasts enhanced cyanide metabolism and cyanide tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 19-26.
- Kiely**, G., Carton , S., Cunningham, O., Duffy, D., Giller, N., Magette, P., y otros. (1999). Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. . *McGraw-Hill Interamericana de España*,.

- Kita**, Y., Nishikawa, H., & Takemoto, T. (2006). Effects of cyanide and dissolved oxygen concentration on biological Au recovery. *J. Biotechnol*, 545-551.
- Kuyucak**, N., & Akcil, A. (2013). Cyanide and removal options from effluents in gold mining and metallurgical processes. *Minerals Engineering*, 13-29.
- León**, O., León, I., Montero, I., Montero, I., León, O., León, I., y otros. (2003). Métodos de investigación en psicología y educación (No. 303.42). *McGraw-Hill Interamericana*.
- Lorenzo-Acosta**, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(2), 10-17.
- Lozano**, Z., Bravo, C., Ovalles, F., Hernández, R., Moreno, B., Piñango, L., y otros. (2004). Selección de un diseño de muestreo en parcelas experimentales a partir del estudio de la variabilidad espacial de los suelos. *Bioagro*, 16.
- MAE**, M. d. (2015). *Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental*.
- Méndez**, J., Ramírez, C., Gutiérrez, A., & García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 29-44.
- Mudder**, T., Botz, M., & Smith, A. (2001). Chemistry and treatment of cyanidation wastes. *Mining Journal Books, London, UK*, 345.
- Novak**, D., Franke-Whittle, I., Pirc, E., Jerman, V., Insam, H., Logar, R., y otros. (2013). Biotic and abiotic processes contribute to successful anaerobic degradation of cyanide by UASB reactor biomass treating brewery waste water. *Water research*, 3644-3653.
- Organization**, W. W. (2004). Hydrogen cyanide and cyanides: Human health aspects. *Concise international chemical assessment document*, 61.
- Pamo**, E., Aduvire, O., & Baretino, D. (2002). Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: estado actual y perspectivas de futuro. *Boletín Geológico y minero*, 3-21.
- Pantoja**, F. (2001). TECNOLOGÍAS APROPIADAS PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN OCASIONADA POR MERCURIO EN LA MINERÍA DE ORO. *CORPONARIÑO-COLCIENCIAS A.A*, 1476.
- Piotrowski**, M., & Volmer, J. (2006). Cyanide metabolism in higher plants: cyanoalanine hydratase is a NIT4 homolog. *Plant molecular biology*, 61 (1-2), 111-122.
- 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.

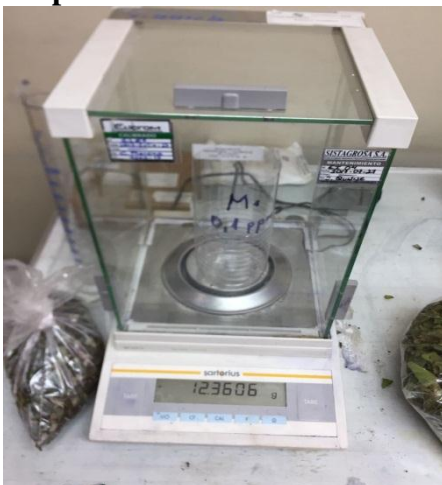
- Rivero, R.,** Rodríguez, E., Menéndez, R., Fernández, J. A., Barrio, G., & González, M. (2002). Obtención y caracterización preliminar de un extracto de Aloe vera L. con actividad antiviral. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 7 (1) 32-38.
- Rodier, J.** (2010). *Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. Barcelona.
- Romero, J.** (2015). Tratamiento de aguas residuales. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingenieros.
- Rosas, H.** (2001). Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. *Universitat Politècnica de Catalunya*.
- Sánchez, M. F.** (2006). Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes. . *Aiyana ediciones*.
- Schlegel, B.,** Gayoso, J., & Guerra, J. (2001). *Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales*. Valdivia.
- Sirin , O.,** Shih, C., Tia, M., & Ruth, B. (1998). Development of a modified Rotavapor apparatus and method for short-term aging of modified asphalts. . *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 72-81.
- Sirin, O.,** & Tia, M. (2013). Evaluation of an improved Rotavapor aging apparatus using a Morton flask for simulation of hot-mixing on modified asphalts. *International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering*.
- Suárez, V.,** & Trujillo, D. (2011). Diseño y Construcción de un Equipo de Prueba de Jarras para la Tratabilidad de Aguas Residuales. *Bachelor's thesis*, 34.

8. ANEXOS

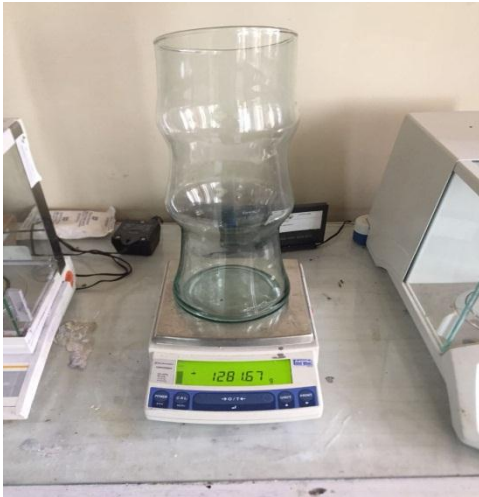
Preparación de muestras para calibrar el equipo HACH DR 5000,



Preparación del lecho machacado para el experimento de biorremediación.



Preparación del extracto para utilizar en la biorremediación.



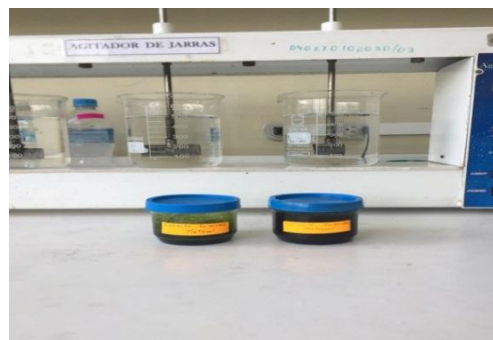
Obtención del extracto en el rotavapor

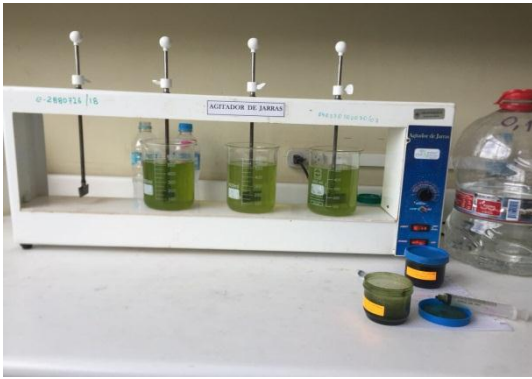


Preparación del equipo de jarras para las pruebas de dosificación.



Pruebas de dosificación del extracto para biorremediación.

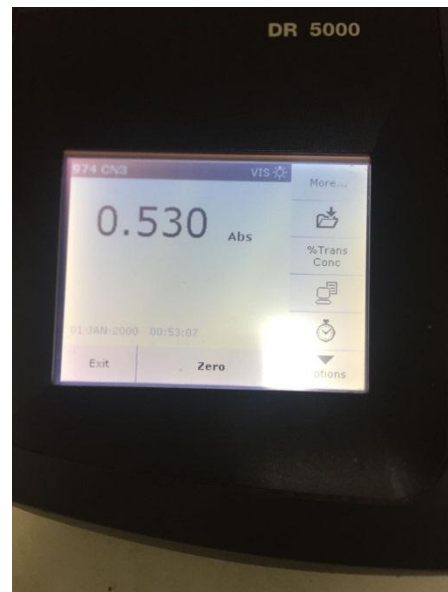




Preparación de reactivos para medir Cianuro en el equipo HACH DR 5000



Resultados de Absorbancia del agua tratada por los dos métodos en el equipo HACH DR 5000.



DISEÑO DE PARCELAS Y METODO EXPERIMENTAL

| Parcelas de <i>Cecropia peltata</i> l. | | | | | |
|---|-------------|------------------|--------|--------|--------|
| Descripción | Area | Perimetro | | | |
| PG1 | 6m2 | 10m | | | |
| PG1.1 | PG1.2 | PG1.3 | PG1.4 | PG1.5 | PG1.6 |
| PG1.7 | PG1.8 | PG1.9 | PG1.10 | PG1.11 | PG1.12 |
| PG2 | 6m2 | 10m | | | |
| PG2.1 | PG2.2 | PG2.3 | PG2.4 | PG2.5 | PG2.6 |
| PG2.7 | PG2.8 | PG2.9 | PG2.10 | PG2.11 | PG2.12 |
| PG3 | 6m2 | 10m | | | |
| PG3.1 | PG3.2 | PG3.3 | PG3.4 | PG3.5 | PG3.6 |
| PG3.7 | PG3.8 | PG3.9 | PG3.10 | PG3.11 | PG3.12 |
| Parcelas de <i>Malva sylvestris</i> | | | | | |
| Descripción | Area | Perimetro | | | |
| PM1 | 12m2 | 14m | | | |
| PM1.1 | PM1.2 | PM1.3 | PM1.4 | PM1.5 | PM1.6 |
| PM1.7 | PM1.8 | PM1.9 | PM1.10 | PM1.11 | PM1.12 |
| PM2 | 12m2 | 14m | | | |
| PM2.1 | PM2.2 | PM2.3 | PM2.4 | PM2.5 | PM2.6 |
| PM2.7 | PM2.8 | PM2.9 | PM2.10 | PM2.11 | PM2.12 |
| PM3 | 12m2 | 14m | | | |

| | | | | | |
|-------|--|-------|--------|--------|--------|
| PM3.1 | PM3.2 | PM3.3 | PM3.4 | PM3.5 | PM3.6 |
| PM3.7 | PM3.8 | PM3.9 | PM3.10 | PM3.11 | PM3.12 |
| | Muestras de control | | | | |
| | Muestras aleatorias para analisis de laboratorio | | | | |
| | Ciegas sirven para verificar los analisis | | | | |

Resultados de la semana I

| | Guarumo | Malva |
|-----------------|----------------|----------------|
| Muestras | 0.1 ppm | 0.1 ppm |
| Repetición 1 | 0,0868 | 0,0846 |
| Repetición 2 | 0,0887 | 0,0853 |
| Repeticion 3 | 0,0890 | 0,0846 |

Resultados de la semana II

| | Guarumo | Malva |
|-----------------|----------------|----------------|
| Muestras | 0.1 ppm | 0.1 ppm |
| Repetición 1 | 0,0863 | 0,0808 |
| Repetición 2 | 0,0875 | 0,0806 |
| Repeticion 3 | 0,0883 | 0,0810 |

Resultados de la semana III

| | Guarumo | Malva |
|-----------------|----------------|----------------|
| Muestras | 0.1 ppm | 0.1 ppm |
| Repetición 1 | 0,0881 | 0,0820 |
| Repetición 2 | 0,0893 | 0,0823 |
| Repeticion 3 | 0,0888 | 0,0800 |

Resultados de la semana IV

| | Guarumo | Malva |
|-----------------|----------------|----------------|
| Muestras | 0.1 ppm | 0.1 ppm |
| Repetición 1 | 0,089171 | 0,0845122 |
| Repetición 2 | 0,0890004 | 0,083318 |
| Repetición 3 | 0,0884886 | 0,0858298 |

Resultados de la semana V

| | Guarumo | Malva |
|-----------------|----------------|----------------|
| Muestras | 0.1 ppm | 0.1 ppm |
| Repetición 1 | 0,0895122 | 0,0875122 |
| Repetición 2 | 0,088318 | 0,0864886 |
| Repetición 3 | 0,0890004 | 0,0868298 |