

EVALUAR EL EFECTO DEL PROCESO DE FITORREMEDIACIÓN CON
EICHORNIA CRASSIPES EN UN AGUA CIANURADA MEDIANTE
CROMATOGRFÍA DE GASES.

CAMILA GOMEZ GUTIERREZ
SARA LUCIA GUARÍN ÁLVAREZ

MANIZALES
UNIVERSIDAD CATOLICA DE MANIZALES
INGENIERÍA AMBIENTAL

2020

TRABAJO DE GRADO:
EVALUAR EL EFECTO DEL PROCESO DE FITORREMEDIACIÓN CON
EICHORNIA CRASSIPES EN UN AGUA CIANURADA MEDIANTE
CROMATOGRAFÍA DE GASES.

PRESENTADO POR:
CAMILA GOMEZ GUTIERREZ
SARA LUCIA GUARÍN ÁLVAREZ

TUTOR:
CARLOS ALEXANDER PINILLA

COTUTOR:
SEBASTIÁN ISAAC PACHECO GONZALES

INGENIERÍA AMBIENTAL

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
MANIZALES

2020

DEDICATORIA

Dedicamos de manera especial nuestro trabajo de grado a las personas maravillosas que con su esfuerzo amor y dedicación, nos ayudaron en este largo camino que hoy llega a su fin, para dar paso a nuevos sueños:

A nuestros padres; que han sido incondicionales en este proceso, acompañándonos en los días lluviosos y los días soleados.

A nuestros profesores que forjan con sus enseñanzas nuestra profesión, la cual amamos.

A nosotras mismas, porque nos retamos muchas veces, nos caímos y nos levantamos y hoy celebramos nuestro triunfo.

Al final de este trabajo, podemos decir, que cada camino que se empieza tiene un desafío. Que cada sueño, tiene otros que nacen con el paso del tiempo. Que este trabajo es el esfuerzo y la vida.

¡Por último, gracias a la vida por darnos la oportunidad de vivir al máximo estos últimos cinco años, y todo lo que falta!

CONTENIDO

1-RESUMEN

ABSTRACT

2-INTRODUCCIÓN

3-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4- REVISIÓN DE LA LITERATURA

5-JUSTIFICACIÓN

6-OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

6.2 Objetivos específicos.

7-MARCO TEÓRICO

7.1 Fitorremediacion

7.2 Humedales artificiales

7.3 Cianuración del oro

7.4 *Eichhornia Crassipes*

7.5 Aceites esenciales

7.6 Perfil Volátil y cromatografía

8- METALES PESADOS

8.1 Cianuro

9- NORMATIVA

9.1 Resolución 0631 del 2015

10-METODOLOGÍA

10.1 Objetivo 1: Realizar una revisión del estado del arte en la remoción de metales pesados usando *Eichhornia Crassipes* y su posterior aprovechamiento

10.2 Objetivo 2: Implementar un proceso de fitorremediación para cianuro a escala de laboratorio usando *Eichhornia Crassipes*

10.2.1 Recolección del agua y planta

10.2.2 Montaje del humedal

10.3 Objetivo 3: Determinar el perfil volátil del aceite esencial extraído de *Eichhornia crassipes*, de la planta y del agua antes y después del proceso de fitorremediación

10.3.1 Toma del perfil volátil

10.3.2 Extracción del aceite esencial

10.3.3 Prueba de cianuro

11-RESULTADOS Y ANÁLISIS

12-CONCLUSIONES

13-RECOMENDACIONES

14-ANEXOS

15-REFERENCIAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Información taxonómica de *Eichornia Crassipes*.

Tabla 2: Valores máximos permisibles para la descarga de cianuro a cuerpos superficiales provenientes de la industria minera.

Tabla 3: Resultados de laboratorio de la muestra de concentración de cianuro en el agua antes de la fitorremediación.

Tabla 4: Resultados de laboratorio de la muestra de concentración de cianuro en el agua después de la fitorremediación.

Tabla 5: Cantidad de compuestos volátiles encontrados en las muestras.

INDICE DE IMAGENES

Imagen 1: Sociedad minera la cascada- fuente autoría propia

Imagen 2: Tanques con cianuro- fuente: autoría propia

Imagen 3: Tanques con cianuro- fuente: autoría propia

Imagen 4: Viveros los cerezos - fuente: autoría propia

Imagen 5: Humedal antes de la fitorremediación- fuente: autoría propia

Imagen 6: Humedal después de la fitorremediación -fuente: autoría propia

Imagen 7: Adaptación del humedal - fuente: autoría

Imagen 8: Muestra para obtener el aceite esencial- fuente: autoría propia

Imagen 9: Proceso de hidrodestilación- fuente: autoría propia

Imagen 10: Muestra de planta, aceite y agua antes y después de la fitorremediación
fuente: autoría propia

Imagen 11: Micro extracción en fase sólida -fuente: autoría propia

Imagen 12: Muestra de agua antes y después de la fitorremediación -fuente: autoría propia

Imagen 13: Cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas- fuente: autoría propia

Imagen 14: Metodología de trabajo. Autoría propia

Imagen 15: Cromatograma planta antes de la fitoremediación-*anexo 2*

imagen 16: Cromatograma Planta después de la fitorremediación fuente- *anexo 3*

imagen 17: Cromatograma Aceite antes de la fitorremediación fuente - *anexo 4*

imagen 18: Cromatograma Aceite después de la fitorremediación fuente - *anexo 5*

imagen 19: Cromatograma Agua cianurada antes de la fitorremediación fuente *anexo 6*

imagen 20: Cromatograma Agua cianurada después de la fitorremediación fuente *anexo 7*

1-RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el perfil volátil obtenido de *Eichhornia crassipes* y la eficiencia para absorber cianuro *después* de someterse a un proceso de fitorremediación de un agua residual extraída de una mina de oro ubicada en el sector de Maltería. La planta *Eichhornia crassipes* posee unas características depuradoras y su proliferación es muy rápida y eficaz, al ser una planta acuática se aprovecha para utilizarla como fitorremediadora y gozando de un sistema de raíces, los cuales tienen unos microorganismos específicos, que colaboran con el proceso de depuración de la planta reteniendo en sus tejidos diferentes tipos de contaminantes entre ellos el cianuro.

Este proceso se realizó basado en una revisión preliminar de la bioquímica de los metales pesados en células vegetales y se encuentra que existe relación en el perfil volátil del aceite esencial y la planta con el cianuro retenido a nivel mitocondrial. Esta investigación se desarrolló mediante la instalación de un humedal con un agua residual obtenida de una mina en la ciudad de Manizales Caldas en el sector de Maltería, donde tuvimos un periodo de adaptación del humedal, primero con 60L de agua potable, posterior a ello se llenó con agua potable y agua residual, y finalmente se llenó el 100% con agua residual. Se realizaron cálculos de eficiencia, donde se hicieron estudios al momento de obtener el agua y después de haber pasado el proceso de fitorremediación, además se realizó un análisis del perfil volátil de la planta y la prueba de cianuro del agua según los datos obtenidos con el fin de proponer una solución viable de acuerdo a nuestra pregunta problema la cual es ¿es eficiente el proceso de fitorremediación en un agua residual con presencia de cianuro, utilizando *Eichhornia Crassipes*?

PALABRAS CLAVE: Fitorremediación, aceite esencial, agua residual, metales pesados, perfil volátil, humedal

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the volatile profile obtained from *Eichhornia crassipes* and the efficiency to absorb cyanide after undergoing a process of phytoremediation of a wastewater extracted from a gold mine located in the Maltería

sector. The *Eichhornia crassipes* plant has some purifying characteristics and its proliferation is very fast and efficient, as it is an aquatic plant, it is used to use it as a phytoremediator and enjoying a root system, which has specific microorganisms, which collaborate with the purification process of the plant retaining in its tissues different types of pollutants including cyanide.

This process was carried out based on a preliminary review of the biochemistry of heavy metals in plant cells and it is found that there is a relationship in the volatile profile of the essential oil and the plant with the cyanide retained at the mitochondrial level. This research was carried out by installing a wetland with a residual water obtained from a mine in the city of Manizales Caldas in the Maltería sector, where we had a period of adaptation of the wetland, first with 60L of drinking water, after that filled with drinking water and wastewater, and finally 100% filled with wastewater. Efficiency calculations were performed, where studies were made at the time of obtaining the water and after having passed the phytoremediation process, an analysis of the volatile profile of the plant and the water cyanide test were performed according to the data obtained with the In order to propose a viable solution according to our problem question which is, is the phytoremediation process efficient in a residual water with the presence of cyanide, using *Eichornia Crassipes*?

KEY WORDS: Phytoremediation, essential oil, wastewater, heavy metals, volatile profile, wetland

2-INTRODUCCIÓN

La fitorremediación es una función donde existe una relación entre los microorganismos y las plantas ya que es un proceso biogeoquímico donde la rizosfera representa un papel esencial al ser una parte del suelo que se agrupa con las raíces de las plantas, donde los contaminantes que se están tratando son degradados. (Nuñez, Vong, Ortega & Olguín,2004).

Una de las cualidades de la fitorremediación es la capacidad de algunas plantas de degradar o retener contaminantes tanto orgánicos como lo son los hidrocarburos, explosivos, plaguicidas etc. y contaminantes inorgánicos, ya sean metales pesados como el oro, cobre, plomo entre otros.

Las actividades antropogénicas son responsables de la contaminación de los suelos, agua y aire por ejemplo los procesos químicos, el desarrollo industrial como la minería y el inapropiado depósito de los residuos son algunos factores que se pueden mencionar. Existen diferentes tipos de alternativas que pueden mitigar este tipo de generadores de contaminación, pero tienen un elevado consumo de energía y son soluciones muy costosas, en cambio la fitorremediación es una alternativa económica, no genera consumo de energía ni se necesita personal profesional para poder realizar un proceso de fitorremediación ni una infraestructura muy elaborada, además son eficaces para usar diferentes contaminantes in situ.

Uno de los rasgos principales y característicos de la fitorremediación, son las tecnologías de descontaminación que ya se pueden dar a conocer como una alternativa de remediación sustentable, donde son los procesos biogeoquímicos los que mejoran la capacidad que tienen las plantas y los microorganismos de degradar los contaminantes que se metabolizan dentro de los tejidos vegetales.

Se evaluó la eficiencia de remoción del cianuro de una industria minera ubicada en el Km 11 vía Progel las minas en la zona industrial de la ciudad de Manizales departamento de Caldas Colombia, en la vereda malteria, que usa el cianuro para el proceso de lixiviación del oro, construyendo un humedal artificial con un sistema de tratamiento integral, empleando 60 L de agua y 10 L de agua cianurada al 70% estos humedales artificiales son zonas construidas por el ser humano donde de manera

controlada se desarrollan los procesos fisicoquímicos y biológicos para la reducción de contaminantes en los humedales, estos son capaces de depurar el agua, eliminando tanto procesos químicos, SS y materia orgánica.

En el presente trabajo se utilizó la planta *Euchornia crassipes* por sus propiedades de proliferación, variedad de nutrientes, y la ventaja que tiene de remover los diferentes tipos de metales pesados, en este caso el cianuro sin el uso de elementos químicos. El crecimiento de *Euchornia crassipes* se ve reflejado y beneficiado por aguas ricas en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, hierro, aluminio, cobre, y zinc, y su capacidad reproductiva es alta. La biomasa de *Euchornia crassipes* puede duplicarse en pocas semanas a través de reproducción vegetativa, lo que genera la aparición de abundantes colonias flotadoras. (Guevara&Ramírez, 2015).

Se realizó la toma de perfil volátil del aceite esencial de la planta acuática *Euchornia crassipes* obtenido por hidrodestilación asistida por microondas y se evaluó por el proceso de cromatografía de gases unido a espectrómetro de masas.

Se define la cromatografía de gases y la espectrometría de masas como unas técnicas que conforman una herramienta para conocer, cuantificar y dividir los componentes semi volátiles y volátiles de mezclas complejas. (Gutiérrez&Droguet2002)

Los compuestos volátiles de las plantas son esas sustancias químicas que emiten las plantas las cuales cumplen con diferentes funciones, ya que sirven tanto para la protección de la planta contra situaciones ambientales como para repeler algunos herbívoros o atraer polinizadores.

La extracción del aceite esencial se hizo mediante el proceso de hidrodestilación asistido por microondas, este método es ambientalmente eficiente, se utilizó el montaje que se encuentra en el laboratorio de biotecnología, evaluando primero la *Euchornia crassipes* sin presencia de cianuro, 60 minutos en el microondas a una potencia de 50. posteriormente se evaluó la planta *Euchornia crassipes* con presencia de cianuro a una potencia de 50 en el microondas y un tiempo de 100 minutos. El método de extracción por hidrodestilación se utiliza para obtener de la planta (*Euchornia crassipes*) el aceite esencial, cuando el material a destilar se encuentra ya sumergido en el agua se calienta hasta su ebullición.

3- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Unas de las principales problemáticas del mundo es la contaminación del agua procedentes de zonas industriales, mineras, agropecuarias y domésticas. Dichos componentes de estas aguas, en este caso metales pesados son de gran amenaza para la vida, por lo que fue necesario pensar en estrategias para reducir o mitigar dichos impactos generados. Muchas de dichas estrategias presentan un alto costo por lo que sería una desventaja para el uso de las mismas, sin embargo, también existen estrategias que son más sustentables y de un bajo costo, una de estas es la fitorremediación.

La fitorremediación es una técnica sustentable donde se utilizan plantas para disminuir la concentración de contaminantes presentes en agua, aire, sedimentos y suelo, mediante procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a un sistema de raíces que generan tanto la reducción, degradación y la volatilización de diversos tipos de contaminantes. Este proceso puede ejecutarse con una amplia diversidad de especies entre ellas *Ipomoea murucoides*, *Érica andevalensis*, *Agropyron cristatum*, *Eichornia crassipes*, *Vetiveria zizanioides* entre otras.

Dentro de las ventajas que presenta esta alternativa son:

- Fácil operación y manejo, significando que no requiere un personal especializado para el manejo de esta técnica, pues no se requiere de muchos cuidados especiales.
- No es necesario el consumo de energía.
- Es de bajo costo en su construcción y mantenimiento
- Es muy eficiente para remover metales que tenga el agua.

Ya que el cianuro es un compuesto que se utiliza para para disolver el oro hasta quedar en pequeñas cantidades y extraerlo de la roca, es uno de los compuestos más usados a nivel mundial en la industria minera, sin embargo al ser tóxico está prohibido para su manipulación, de hecho en lo estipulado por la ley 7722 en el año 2007 se refiere a la prohibición de sustancias químicas cuyo objeto es la *“Prohibición del uso de sustancias químicas como cianuro, mercurio, ácido sulfúrico, y otras sustancias tóxicas similares en los procesos mineros metalíferos de cateo, prospección, exploración, explotación y/o industrialización de minerales metalíferos obtenidos a través de*

cualquier método extractivo". Por lo que es esencial cumplir con los requerimientos de control y manejo del cianuro.

Una de las plantas utilizadas en la eliminación del cianuro que tienen las aguas residuales mineras es la especie *Eichhornia crassipes* o buchón de agua. Al ser una especie que se acomoda fácilmente a diferentes regiones tropicales, como Colombia. Una de sus características es su gran capacidad de proliferación, también es capaz de absorber y retener metales pesados y soportar su toxicidad.

4- REVISIÓN DE LA LITERATURA

1- Fitorremediación de cianuro por jacintos de agua (*Eichhornia crassipes*)

El cianuro es un compuesto con una toxicidad alta pero debido a su precio tan económico hace que sea usado en la industria minera.

El cianuro en los efluentes de las últimas minas podría posiblemente ser eliminado por el jacinto de agua *Eichhornia crassipes* por su alta producción de biomasa, tolerancia al cianuro (CN) y metales. (Ebel, Evangelou, & Schaeffer, 2007)

Siendo *Eichhornia crassipes* el tipo de planta que se utilizó en un agua residual de tipo industrial. usando un volumen de 50L dejando expuestas las plantas en el proceso de fitorremediación a 24h,48h,72h,96h, teniendo en cuenta parámetros de pH, radiactividad, t de 25 C. usando un reactor en sistemas de lote cerrado. Para determinar su cinética se utilizaron los parámetros de Michaelis-menten, K_m , y V_{ma}

Como resultados se obtuvieron que *Eichhornia crassipes* demostró una alta tolerancia al cianuro y eliminó el cianuro libre en solución en cortos períodos de tiempo

2- Fitorremediación de cianuro que contiene agua residuales industriales de acero por *Eichhornia crassipes*

El jacinto de agua posiblemente podría eliminar el cianuro BF que elimina el agua por su alta producción de biomasa y tolerancia al cianuro (CN). Esta investigación está relacionada con el estudio del Potencial del jacinto de agua en la eliminación del contaminante de iones de cianuro del agua BF mediante un uso económico y una tecnología biológica (Saha, P., Mondal, A., & Sarkar, S,2018).

Se midieron unos parámetros como pH, DBO, TDS, BCF, DQO con las siguientes concentraciones de cianuro: 0,5; 0,7; 1,2 y 5 mg/L a una temperatura entre 25 y 30 C usando un volumen de agua de 6L a pequeña escala y 100 L a gran escala.

Removiendo un 95% del cianuro que contiene dicha agua.

Los resultados de la investigación fueron que el porcentaje de fijación es de 0.67ppm (3 día), *Eichornia Crassipes* es eficiente para la disminución en la concentración de cianuro con una reducción del 96.9% en la DBO.

3- Eliminación de cianuro por plantas leñosas.

El cianuro de hidrógeno es un producto químico de alto volumen de producción que causa graves problemas ambientales. La toxicidad Se probó el cianuro de potasio (KCN) en los sauces (*Salix viminalis*). se probaron diferentes concentraciones a determinados tiempos, al final de la prueba, casi todo el cianuro había desaparecido de las soluciones. (Larsen, M., Trapp, S., & Pirandello, A,2004)

El tipo de plantas utilizadas en el artículo fueron el sauce, álamo, anciano, rosa y abedul en aguas residuales de extracciones de oro, determinando su PH, la humedad y una temperatura a 23C. Para determinar su cinética se utilizaron los parámetros de Michaelis-menten, Km, y Vma.

4- Desintoxicación de ferrocianuro en un sistema suelo-planta

La desintoxicación del cianuro de hierro en un sistema suelo-planta se investigó para evaluar el total cianuro extraído de suelo contaminado y asignado en el tejido de la hoja de los sauces (*Salix caprea*). los árboles se cultivaron en un suelo que contiene 1000 mg / kg de peso seco de cianuro. estos cultivos se mantuvieron a temperatura ambiente. Las muestras se dirigieron y se destilaron a 120 ° C durante 30 minutos en una Sistema de micro destilación. (Dimitrova, T., Repmann, F., & Freese, D,2019)

la concentración de CN en los tratamientos disminuyó constantemente. gracias a la absorción de la planta.

5- Tratamiento pasivo para la eliminación de cianuro residual en el drenaje de estanques de relaves de minas de oro cerradas

En la industria minera del oro, los relaves del proceso de lixiviación con cianuro contienen cantidades variables de varios compuestos de cianuro.

Se encontró una tasa promedio de remoción de CN de 90.36% en el laboratorio humedal, logrando concentraciones residuales de CN inferiores a 2 mg / l. Eliminación las tasas de Cu y otros metales alcanzaron valores en el rango de 90-99% (de 50 mg / el 1 mg / l). (Álvarez, R et al)

6- Tratamiento mediante cuatro humedales de flujo vertical en Pensilvania para el drenaje ácido de una mina.

Se han desarrollado tratamientos con humedales de flujo vertical y desagües anóxicos de piedra caliza con cuatro sistemas sucesivo de producción de alcalinidad (SAPS), para determinar los cambios en la química del agua de entrada a salida, el primero eliminó aproximadamente 40% de la concentración de acidez de entrada y 60% de Fe. El segundo eliminó 26% de acidez, 83% de Fe. El tercero 31% de acidez, y 30% de Fe. El cuarto 91% de acidez y 90% de Fe. (Demchak, Morrow and Skousen, 2001)

7- Mecanismos de extracción de metal en un corto tiempo de residencia hidráulica, humedal de compostaje de flujo subsuperficial para tratamiento de drenaje de minas

Se construyó un humedal de compost con un tiempo de residencia hidráulica (7,5–14,5 h) el cual se eliminó el Zn de una descarga de agua de un drenaje de mina en un periodo determinado de 2 años.

La eficacia media del tratamiento fue del 67,5% (Zn total) y del 84,4% (Zn filtrado). Las tasas medias de eliminación ajustadas por volumen para Zn total y filtrado fueron 0,92 g / m³ / día y 1,05 g / m³ / día, respectivamente. Tanto los análisis de agua como de compost mostraron que la reducción de sulfato bacteriano es el proceso de eliminación de Zn más importante dentro del humedal. (Catherine et al.,2016)

8- Uso de humedales construidos para eliminación de cianuro y metal de efluentes de molino de oro

Se trató con un humedal las aguas residuales alcalinas de una mina de oro, donde el sustrato orgánico y las plantas en el humedal absorbieron el cobre y degradaron el cianuro.

Las tasas de disociación química de los complejos de cianuro en el agua se ven afectadas por varios factores como el pH, la temperatura del agua, la intensidad de la luz, los sólidos disueltos totales entre otros. El promedio de remoción es de 90.36%, lo que muestra la alta eficiencia de un tratamiento natural basado en un humedal compost y plantas. (García.,2003)

El valor medio influente de cobre (Cu) en el humedal de laboratorio es 47.33 mg / L y el efluente es 1.25 mg / L, lo que significa que la eliminación de este metal es 97.99%. La eliminación del cobre se debe principalmente a los procesos de precipitación y adsorción de compost. El experimento duró 60 días y se tomaron muestras de efluentes que fueron analizadas. El contenido de cianuro del efluente fue de 1.58 mg / L y el contenido de cobre fue de 1.25 mg / L, siendo entonces la tasa de reducción de 90.36% para cianuro y 97.99% para cobre. Una disminución de aproximadamente 1-1.5 unidades de pH La temperatura en el sitio del laboratorio del humedal fue de 18°C. (García.,2003)

9- Remediación de humedales de cianuro e hidrocarburos

La fabricación de aluminio produce desechos que contienen cianuro, metales y algunos hidrocarburos de petróleo, por ende, se realizó un proyecto con humedales para la reducción del cianuro complejo y libre de agua manantial subterránea, tanto el cianuro total como el libre se redujeron después de una retención de 7 días con un 56% y un 88% respectivamente, y los compuestos de hidrocarburo se redujeron 67%.

Los parámetros de calidad del agua examinados incluyeron: hierro, DRO, GRO, cianuro libre, cianuro total, fluoruro, nitrato de nitrógeno, amoníaco-nitrógeno, fósforo, pH y oxígeno disuelto. (Timothy et al.,2005)

10- Uso de humedales artificiales en la extracción de metales pesados de ARnD

Se estudió la efectividad de un flujo continuo en la superficie para extraer metales como plomo cadmio hierro níquel cromo y cobre en aguas industriales usando el método estándar, donde los resultados indican que las eficiencias de eliminación para Pb, Cd,

Fe, Ni, Cr y Cu fueron 50%, 91.9%, 74.1%, 40.9%, 89% y 48.3%, respectivamente. Además, el rendimiento del humedal fue lo suficientemente eficiente como para reducir metales pesados, particularmente Cd, Fe, Cu, de las aguas residuales industriales que se le suministran. (Sardar et al.,2009)

11- Remoción de metales pesados de la industria, Efluentes de la planta acuática *Myriophyllum spicatum* L.

Se utilizó la planta acuática *Myriophyllum spicatum* L. para la eliminación de Co, Ni, Cu y Zn de efluentes industriales. Se evaluaron la cinética de eliminación, la tolerancia y la acumulación de la planta acuática sumergida. La eliminación de Cu y Zn fue similar y ocurrió rápidamente con el tiempo, mientras que la eliminación de Co y Ni fue más lenta. (Lesage et al.,2008)

El crecimiento de las plantas no se vio afectado negativamente durante las 12 semanas de exposición a las aguas residuales. *M. spicatum* se sugiere como una especie de planta eficiente para el manejo de aguas residuales industriales con presencia de metales. (Lesage et al.,2008)

12- Eliminación de nutrientes y metales en un humedal construido para tratamiento de aguas residuales de una industria metalúrgica.

Se construyó un humedal para la extracción de nutrientes y metales donde se utilizó la planta *eichhornia crassipes* el cual cubrió el 80% de la superficie del humedal. *typha domingensis* (totorá) y *panleum elephantipes* se desarrollaron como especies acompañantes con una cobertura del 14 y 4%. El humedal eliminó el 86% de Cr y el 67% de Ni. Las concentraciones de Zn fueron inferiores a 50 µg l⁻¹ en la mayoría de las muestras. La precipitación de FeS causó la alta retención de Fe (95%). El agua saliente era anóxica es decir que el oxígeno disuelto está agotado. El fosfato y el amonio no fueron retenidos dentro del humedal, mientras que el 70% y el 60% del nitrato y nitrito entrante fueron eliminados. (Maine et al.,2006)

13- Comparación de la acumulación de metales pesados en un entorno natural de humedales y humedales artificiales que reciben minas ácidas

Se comparó la acumulación de metales pesados en un humedal natural y uno artificial construido por la Tennessee Valley Authority (TVA) para el tratamiento del drenaje de minas. La eficiencia de remoción de los metales fue mayor en los humedales artificiales que en los naturales. (Mays and Edwards, 2001)

Se tomaron muestras mensuales de agua de cada uno de los dos humedales para revisar las concentraciones. utilizaron especies como *latifolia* y *pectinata*.

14- Reducción de metales pesados de aguas residuales por humedal

Los humedales artificiales son estanques poco profundos utilizados para tratar aguas residuales, en donde usan plantas acuáticas, estos tratan una variedad de aguas residuales, incluyendo escorrentía urbana; drenaje municipal, industrial, agrícola y ácido de minas (Sahu.,2014)

Se utilizó un agua sintética preparada en un laboratorio con químicos. para los análisis, las mediciones de absorbancia se registraron en un espectrofotómetro Du-6, UV-VIS. La concentración de iones metálicos se determinó por cromatografía de gases (modelo Hewlett Packard, 5890A). Se pudo observar que la mayor reducción de la concentración de los metales se dio los primeros 9 días, ya después de los 10 días se vuelve constante.

15- Rendimiento de tres especies de plantas acuáticas en el drenaje ácido de minas a escala de banco Células de prueba de humedales

Se investigó la eliminación de contaminantes del drenaje ácido de minas (AMD) por tres plantas acuáticas diferentes especies (*Typha angustifolia*, *Desmostachya bipinnata* y *Sacharum bengalense* (Sheoran,2006) se utilizaron diferentes períodos de retención (24, 48, 72, 96 y 168 horas).

Las características del drenaje ácido de mina (AMD) incluyen pH pequeño, una alta concentración de metales pesados entre otros contaminantes, es decir, sulfatos, acidez y a veces productos químicos tóxicos.

La remoción de turbidez fue optimizada en humedales células con *D. bipinnata*. El máximo CE y Se observó disminución de sulfato en la prueba de *S. bengalense* células en 24 horas, con diferente columna de agua inicial alturas La reducción máxima en

dureza y red. Se observó acidez en *T. angustifolia*, durante las primeras 24 horas de retención (Sheoran.,2006)

16- ESTUDIO DE CAMPO SOBRE ELIMINACIÓN DE METALES PESADOS EN UN HUMEDAL NATURAL RECIBIENDO DESCARGA MUNICIPAL DE ALCANTARILLADO

Se realizó una prueba en un humedal natural durante 12 meses y está dominado por la caña.

planta *Phragmites australis*. Se seleccionaron 3 muestras de agua fueron recolectadas mensualmente, los metales estudiados en estas aguas fueron (Cromo, Zinc, Cadmio, Magnesio, Hierro.

Como resultado obtuvieron que el flujo de agua a través del humedal tiene un papel muy importante para garantizar que los metales pesados tengan un mayor tiempo de residencia en el humedal y proporcionen tiempo para que las raíces de las plantas absorban los metales. (Shibambu et al.,20017)

17- Sistemas de tratamiento pasivo basados en humedales para efluentes de procesamiento de mineral de oro que contienen cianuro, metales y nitrógeno

Se diseñó, construyó y monitoreó un sistema de tratamiento de humedales a escala piloto in situ durante un período de nueve meses. En general, los resultados sugieren que los humedales construidos a base de compost son capaces de desintoxicar los efluentes de cianuración, eliminando aproximadamente el 21.6% de cianuro disuelto y el 98% de Cu, así como los nitritos y nitratos. Por ende, los sistemas basados en humedales pueden considerarse una tecnología viable para la eliminación de concentraciones residuales de cianuro de los lixiviados que emanan de las instalaciones cerradas de eliminación de desechos de minas de oro. (Álvarez et al.,2017)

18- Influencia de la vegetación en la eliminación de metales pesados y nutrientes en un humedal construido.

Se construyó un humedal para tratar un agua que contenía metales (Cr, Ni, Zn) provenientes de una fábrica de herramientas en Argentina. Se lograron muestras de agua a la entrada y salida del humedal durante 3 años, Durante el dominio de *Eichhornia crassipes*, los contaminantes fueron retenidos en la biomasa macrófita. (Maine et al., 2009) se utilizaron plantas como (*Eichhornia crassipes*, *Typha domingensis*). Como resultados se pudieron observar que las concentraciones de los metales habían disminuido.

T. domingensis Es la mejor opción para tratar aguas residuales de pH alto y conductividad con metales pesados, dando gran resultado en procesos industriales favoreciendo su desarrollo regulando el nivel del agua. (Maine et al., 2009)

19- Remoción de Cd y Zn de una corriente acuosa de una empresa minera usando humedales artificiales.

Los humedales artificiales son eficaces para la eliminación de metales pesados que tienen las aguas residuales de diferentes industrias. Se utilizaron ocho reactores de PVC. Se adecuaron plantas acuáticas (*Typha latifolia*) a las condiciones de laboratorio y se realizó el seguimiento del proceso de eliminación de metales, cuantificando las concentraciones de cadmio y zinc en los efluentes, así como también realizando la medición de pH y DQO soluble. (Ruiz et al.,2

Al final se observó que las plantas habían removido hasta un 90% de los metales presentes y que estas mismas pueden soportar condiciones de acidez.

20- Remediación de contaminado con cianuro en el ambiente a través de microbios y plantas: Una revisión del conocimiento actual y futuro perspectivas

Las industrias mineras utilizan el cianuro para la recuperación del oro, por esto es que muestran el proceso de biorremediación como método eficiente y ecológico para disminuir la contaminación que genera el proceso de lixiviación y una alternativa considerable para evitar los procesos químicos y las tecnologías de limpieza convencionales, por su bajo costo aprovechando el potencial de los microorganismos y las plantas para la eliminación del cianuro.

La biodegradación del cianuro depende de la temperatura que normalmente varía entre 20 y 40 ° C. El efecto del pH específicamente en la biorremediación del suelo contaminado con cianuro es significativo. El pH para el crecimiento de bacterias es de 6–9 y el *Eichhornia crassipes* elimina el cianuro en los efluentes de las minas. La fitotoxicidad para *Eichhornia crassipes* debido a NaCN se cuantificó entre 5 y 50 mg de CN L⁻¹. El cianuro a 5,8 y 10 mg L⁻¹ se eliminó por completo después de 23–32 h. El metabolismo de K¹⁴CN en sistemas discontinuos con esquejes de hojas y raíces indicó que los esquejes de hojas eliminaron aproximadamente el 40% de la radioactividad de la solución después de 28 h y el 10% se convirtió en ¹⁴CO₂. (Kumar et al.,2016)

5- JUSTIFICACIÓN

Actualmente la explotación minera cada día aumenta y con ella la falta de control frente a las actividades de preservación y protección ambiental en la contaminación de las fuentes hídricas.

El aumento de la contaminación del agua y otros metales pesados es un problema que además de causar impactos ambientales, también repercute en la salud humana y en la degradación de la vegetación y ríos. En Colombia existen muchas zonas altamente contaminadas por metales pesados y cianuros por su inadecuado uso de las aguas residuales provenientes de actividades mineras, estas aguas necesitan ser tratadas y una alternativa viable y económica a diferencia de otras tecnologías convencionales que son costosas y no tan factibles, y que permite mitigar la contaminación es la fitorremediación, la cual es una alternativa viable y económica, que por medio de la absorción y por sus características depuradoras de las plantas, remueve los metales pesados que se encuentren en las aguas residuales en este caso el cianuro, metal con el que se va a trabajar en el proyecto.

6- OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del proceso de fitorremediación con *Eichornia Crassipes* en un agua cianurada mediante cromatografía de gases.

6.2 Objetivos específicos.

1-Realizar una revisión del estado del arte en la remoción de metales pesados usando *Eichhornia Crassipes* y su posterior aprovechamiento

2-Implementar un proceso de fitorremediación para Cianuro a escala de laboratorio usando *Eichhornia Crassipes*

3-Determinar el perfil volátil del aceite esencial extraído de *Eichhornia crassipes*

7- MARCO TEÓRICO

7.1. Fitorremediación

La fitorremediación son unas transformaciones que ocurren en las plantas por medio de microorganismos rizosféricos que hacen descomponer los contaminantes presentes en suelo, agua y aire. Con dicha biotecnología se generan menos residuos secundarios por lo que sería una gran ventaja.

Este proceso se da cuando entran en contacto la raíz de la planta y el contaminante ya que éste es absorbido o mezclado con la estructura de la raíz y su pared celular; después de esto pueden ocurrir tres pasos, por una parte los contaminantes son tomados vía difusión e incorporados en la pared y membrana celular; por otro lado los contaminantes son tomados y transformados inmediatamente dando paso a la transpiración del mismo, llevándolo desde la raíz hasta las hojas y, finalmente el compuesto es tomado, metabolizado y localizado en las partes de la planta mediante las fases de conversión, conjugación y compartimentación (Schnoor,2001)

7.1.1. TIPOS DE FITORREMEDIACIÓN:

-FITOEXTRACCIÓN: Las plantas se utilizan para reunir metales en las partes cosechables

-RIZOFILTRACIÓN: Las raíces se utilizan para absorber y acumular de los efluentes líquidos los metales pesados.

-FITOESTIMULACIÓN: Por medio de los exudados radiculares se promueve el desarrollo de microorganismos degradativos

-FITOESTABILIZACIÓN: Las plantas que son tolerantes a metales pesados son utilizadas para reducir el movimiento de los mismos

-FITOTRANSFORMACIÓN: -fitodegradación: las plantas de tierra y agua retienen y descomponen los compuestos orgánicos para convertirlos con un grado de toxicidad menor.

-fitovolatilización: las plantas toman los metales pesados y son liberados a la atmósfera mediante la transpiración

7.2. Humedales artificiales

Existen algunos humedales que han sido creados por el hombre, ya que estos son manipulables en sus condiciones para el mejoramiento de su eficiencia, son usados para reducir los contaminantes de agua, suelo y aire. En cuanto a aguas residuales se han utilizado con distintos tipos de aguas (domésticas, industriales, residuos de rellenos) en este proyecto el agua residual que vamos a usar es un agua proveniente de la industria minera con una alta concentración de cianuro

Los humedales construidos han demostrado ser excelentes tratamientos para la descontaminación de aguas bajo diferentes condiciones climáticas, ya que la presencia de plantas y su interacción con los microorganismos asociados a la zona radicular, permiten la generación de procesos físicos, químicos y biológicos que mejoran la calidad del agua; estos sistemas pueden retener una gran variedad de compuestos orgánicos, así como sedimentos y metales pesados, por lo que funcionan como digestores de materia orgánica y purificadores biológicos de aguas contaminadas (S. Reed 1995).

7.3. Cianuración del oro

Al ser el cianuro una sustancia predestinada para la recuperación del oro, por ser un reactivo químico que lo disuelve en el agua, la industria minera utiliza el cianuro en sus procesos, por su bajo costo y su práctica técnica al extraer oro del mineral de baja ley y el mineral que no se trata con facilidad mediante la trituración.

Al formar el cianuro enlaces con casi todos los metales como el cobre, zinc, mercurio entre otros, en la producción de oro hace referencia a la hidrometalurgia, y es allí en donde los metales se produce una subdivisión que hace el manejo de cada uno de ellos extraído, el cual a través de la lixiviación que es el proceso de disolución de metales lo convierte de medio sólido a medio acuoso, es decir que utiliza soluciones a base de agua y de estabilidad variable para separar y rescatar metales, entonces el cianuro se disuelve en agua en condiciones oxidantes.

La producción de oro consta de 7 pasos puntuales los cuales se dividen en:

TRITURADO: es una operación unitaria donde el mineral extraído de la montaña se fragmenta en partes más pequeñas.

MOLINO: es un molino de impacto donde el mineral queda pulverizado y pasa a la siguiente sección (tamizaje de partículas) dentro del molino se genera una retención importante de material arenoso con altas densidades y por ello es importante hacer limpieza al molino para tener la máxima recuperación de oro posible.

MESA ESTÁTICA: en esta parte del proceso se cepilla la arena, para que el oro de mayor tamaño quede en evidencia

MESA MÓVIL O ALEMANA: se presenta el proceso de tamizaje, para separar el oro fino del oro libre

LIXIVIACIÓN: El mineral que se encuentra en los tanques de lixiviación es lavado y limpiado con una solución cianurada para recuperar el oro, la arena resultante sin oro libre que queda del proceso anterior, va al proceso de lixiviación donde una solución de cianuro se filtra en unos tanques para que la partícula se quiebre y así dejar expuesta la

superficie del mineral del oro, donde la solución ya comienza a hacer su trabajo disolviendo el oro.

PRELAVADO: La solución con un porcentaje mínimo de oro sale ligeramente húmeda, La solución con oro es separada del sólido dejándolo 2 horas en decantación y 36 horas en el proceso de agitación y finalmente es filtrada.

PRECIPITADO: La solución con un porcentaje alto en oro se somete a este proceso después de ser filtrada y limpiada, se elimina el oxígeno para así poder añadir el Zinc para que el metal se precipite y hacerse sólido.

REFINERÍA: El oro extraído en el proceso precipitado es enviado a operaciones de secado en hornos a una temperatura promedio de 650°C. y finalmente pasa por un proceso de fundición en horno de a 1 200°C para tener el producto final.

7.4. Euchornia Crassipes

El buchón de agua o jacinto de agua es una planta utilizada en el tratamiento de aguas residuales las cuales permiten eliminar del agua un porcentaje alto de compuestos tóxicos sin el uso de elementos químicos. Estos poseen el potencial para capturar metales pesados, en canales sembrados con el buchón de agua, se ha comprobado una eficiencia de remoción de los diferentes contaminantes que alcanza más de 97% en los metales pesados y hasta el 98% en sólidos suspendidos (Bjerrum & Gladrow 2017) Estas plantas asimilan los nutrientes y crean condiciones adecuadas para que las bacterias descomponen la materia orgánica. Normalmente el proceso usado con esta planta se tiene como un tratamiento secundario y se ha comprado una eficiencia con la remoción de metales pesados tanto en la superficie de la tierra como en el agua.

Presentan un nivel alto de crecimiento y proliferación lo cual las hace más comunes y pueden llegar a ser denominadas malezas de agua. Esta especie normalmente flota en el agua y puede llegar a tener hasta 1m de altura.

Condiciones mantenimiento

Las condiciones óptimas de los buchones de agua, se dan en aguas con pH entre 6,5 y 7,8, con unas temperaturas entre 16 y 29 C, debe haber luz en los espacios donde se encuentren (EcuRed (s.f.))

Taxonomía

Nombre común:	<i>Jacinto de agua, lirio acuático, lila de agua, buchón de agua</i>
Reino:	<i>Plantae</i>
Phylum:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Liliopsida</i>
Orden:	<i>Pontederiales</i>
Familia:	<i>Pontederiaceae</i>
Género:	<i>Eichhornia</i>
Especie:	<i>Eichhornia crassipes (Mart.) Solms, 1883</i>

Tabla 1: Taxonomía de *Eichhornia Crassipes*

7.5. Aceites esenciales

Los aceites esenciales son destilados que salen a partir del vapor de agua de algunas plantas, estos aceites pueden venir de la raíz, hojas, tallo, dichos aceites pueden usarse en la medicina natural por sus aromas o por los beneficios que traen en los tejidos corporales, además sirven para desintoxicar y desparasitar.

El método más utilizado es destilación por corriente de vapor. dejamos la planta triturada en partes pequeñas, al momento que esta empieza a calentarse, se evaporan y se liberan unas pequeñas moléculas que conforman los aceites esenciales. En este procedimiento la muestra se encuentra en una cámara unida a una corriente de vapor de agua sobrecalentado, la esencia así es llevada condensada, recolectada y separada de la parte acuosa.

Método de análisis

El método más utilizado y más fiable para el análisis de los aceites esenciales es la cromatografía de gases. este método permite identificar todas las moléculas aromáticas

para así podernos dar cuenta de quimio tipo del aceite esencial en este proceso también se verifica la calidad del aceite esencial.

7.6. Perfil Volátil y cromatografía

La importancia del perfil volátil se basa principalmente en que este, actúa como señales para la planta y para otros organismos debido a que producen y emiten numerosos compuestos volátiles orgánicos los cuales transforman el entorno de las especies que los producen, porque no solo liberan flores y frutos si no tejidos vegetativos. Existen los volátiles químicos los cuales utilizan las plantas para su reproducción, como mecanismo de defensa para repeler insectos o para la proliferación de hongos y bacterias.

Los compuestos volátiles de las plantas sirven para dar a conocer los métodos de análisis, la biología molecular y la bioquímica, y así conocer por qué se dan este tipo de sustancias, el papel que juega en la interacción con otros organismos y así dar a conocer las propiedades de los volátiles producidos por las plantas y las funciones que desempeñan en distintos niveles tróficos. (J. Camilo Marín Loaiza y Carlos L. Céspedes 2007).

La cromatografía es un análisis de laboratorio que permite separar mezclas de sustancias de manera gaseosa la cual rastrea los colores que deja en el material absorbente ya sea móvil en el cual se utiliza etanol o estacionaria donde se usa papel de filtro y así, según sus características químicas permite separar sus componentes porque cada uno se desplaza a distinta velocidad.

8- METALES USADOS EN LA MINERÍA

8.1. Cianuro

Sustancia química y anión monovalente con simbología CN, es un compuesto altamente tóxico, característico por tener un olor muy fuerte y amargo, y al no descomponerse rápidamente tiene grandes consecuencias en la salud y en el ambiente. Se puede encontrar en el ambiente en numerosos microorganismos, insectos y en plantas como un mecanismo de protección.

El cianuro es un compuesto químico muy tóxico, esto hace que sea peligroso si no se manipula de forma correcta, trayendo consigo problemas ambientales de alto impacto, esta toxicidad depende si el cianuro está de forma libre ya sea gas o líquido o de forma compleja es decir acuoso o sólido. En la industria minera son numerosos los trabajadores que tienen contacto frecuente con este compuesto, reportándose accidentes o muertes por la intoxicación con cianuro, ya que ingerir altos elevados niveles de cianuro causan parálisis permanente de las extremidades. Además del hombre, los animales pueden verse afectados por los efectos del cianuro debido principalmente a que las operaciones mineras se encuentran debidamente aisladas.

9- NORMATIVA

9.1. Resolución 0631 del 2015

Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”. Deroga el Decreto 2667 de 2012

Artículo 10: PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS A MONITOREAR Y SUS VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES EN LOS VERTIMIENTOS PUNTUALES DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS (ARND) A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES DE ACTIVIDADES DE MINERÍA.

PARÁMETRO	UNIDAD	EXTRACCIÓN CARBÓN PIEDRA Y LIGNITO	EXTRACCION DE MINERALES DE HIERRO	EXTRACION DE ORO Y OTROS METALES PRECIOSO
Cianuro Total (CN-)	mg/L	1.00	1.00	1.00
Cloruros	mg/L	500.00	250.00	250.00
Sulfatos	mg/L	1.200.00	250.00	1.200.00
Sulfuros	mg/L	1.00	1.00	1.00

Tabla 2: Valores máximos permisibles para la descarga de cianuro a cuerpos superficiales provenientes de la industria minera

10-METODOLOGÍA

10.1. Objetivo 1: -Realizar una revisión del estado del arte en la remoción de metales pesados usando *Eichhornia Crassipes* y su posterior aprovechamiento

Realizamos la revisión de 20 artículos la mayoría obtenidos de la base de datos de la universidad Nacional para hacer un acercamiento con la idea principal del proyecto en donde hablaban de estudios similares.

10.2. Objetivo 2: Implementar un proceso de fitorremediación para cianuro a escala de laboratorio usando *Eichhornia Crassipes*

10.2.1 Recolección del agua cianurada y planta *Eichhornia Crassipes*

Para la recolección del agua fue necesario realizar una visita a la mina casca ubicada en el sector de maltería, el día que realizamos la visita nos explicaron todo el proceso de la cianuración del oro que se lleva a cabo allí y nos mostraron todas las instalaciones de la mina. se recolectaron dos galones de agua que tenía presencia del metal a estudiar.



*imagen 1: sociedad minera la cascada
autoría propia*



*imagen 2: tanques de cianuración
autoría propia*



*imagen 3: tanques de cianuración-
autoría propia*



*imagen 4: viveros los cerezos-
autoría propia*

Sociedad Minera La Cascada

La Sociedad Minera La Cascada queda ubicada en el Km 11 vía Progel las minas en la zona industrial de la ciudad de Manizales departamento de Caldas Colombia, en la vereda malteria, por la autopista que se dirige hacia la ciudad de Bogotá.

La mina la cascada realiza operaciones de transformación de mineral para ser beneficiado y extraerle los valores, en este caso el metal a procesar es el oro, en la planta de beneficio adjunta la operación minera aproximadamente a unos 50 metros de la bocamina principal.

10.2.2 Montaje del humedal

Para la recolección de la planta se utilizaron 14 plantas de *Eichornia Crassipes* del vivero Los Cerezos ubicado a un costado del Bosque Popular el prado.

Se utilizó una tina plástica redonda aproximadamente de 90 L y fue ubicada debajo de la casa de posgrados de la universidad, realizamos el acondicionamiento del humedal, en donde realizamos 3 momentos: el primero dejamos el humedal con agua (60L) normal durante 8 días el segundo momento agregamos agua residual obtenida de la mina durante otros 8 días y finalmente el humedal con el 100% del agua residual. El humedal lo dejamos por un periodo de 10 días en base a estos fue donde tomamos los resultados e hicimos los respectivos análisis.



imagen 5: humedal antes de la



imagen 6: humedal después de la



imagen 7: Instalación del humedal-Autoría propia

10.3.2 Extracción del aceite esencial

La obtención del aceite esencial se realizó mediante el proceso de hidrodestilación para determinar la composición química por análisis cromatográfico , donde el material entra en contacto directo con el agua hasta su ebullición, en este caso la planta *Eichornia Crassipes* con cianuro fue cortada en pequeñas partes y en un balón de destilación y a una potencia de 50 se deja 100 minutos , teniendo en cuenta que si se expone a una potencia mayor a la requerida se corre el riesgo de perder el volátil. de igual manera a la planta sin cianuro también se le extrajo el aceite esencial, 60 minutos a una potencia de 50.



imagen 8: muestra para obtener el aceite esencial- autoría propia

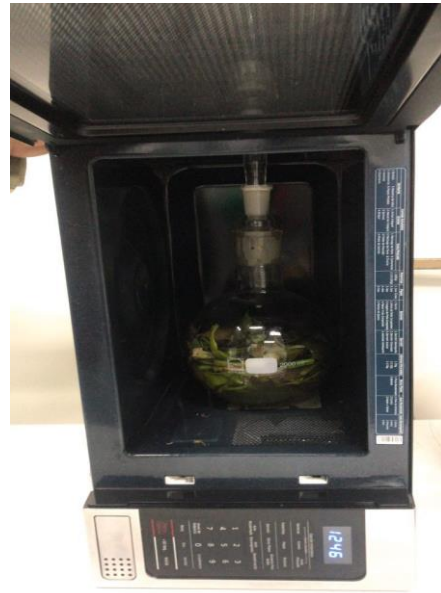


imagen 9: proceso de hidrodestilación- autoría propia

10.3 Objetivo 3: Determinar el perfil volátil del aceite esencial extraído de *Eichhornia crassipes*

10.3.1 Toma del perfil volátil

Condiciones cromatográficas

1. Equipo: SHIMADZU QP 2010 plus
2. Columna: Rtx-1
3. Flujo: 1 ml/min
4. Gas portador: Helio
5. Modo de inyección: Split de 5
6. Temperatura de inyector: 230 °C
7. Temperatura fuente de iones: 300°C
8. Temperatura detector: 300°C
9. Horno: Rampa de temperatura

Se inicia a 45°C se mantiene 2min, se hace un incremento de 3 grados por minuto hasta 100 grados se mantiene 1 min, luego se incrementa 10 grados por minuto hasta 280 grados.

1. Extracción para la Muestra

-De la planta se toman 3 gramos y se introducen a un vial donde se somete a 30 min de extracción a 50°C.

-Del extracto y del aceite se toman 10 ml de cada uno y se introducen a un vial donde se somete a 30 min de extracción a 50°C.

-El método de extracción utilizado es la micro extracción en fase sólida (SPME).

-La fibra utilizada para la extracción es la fibra gris que está compuesta por PDMS/carboxen/divinilbenceno.



*Imagen 10: muestra de planta, aceite y agua antes y después de la fitorremediación-
autoría propia*

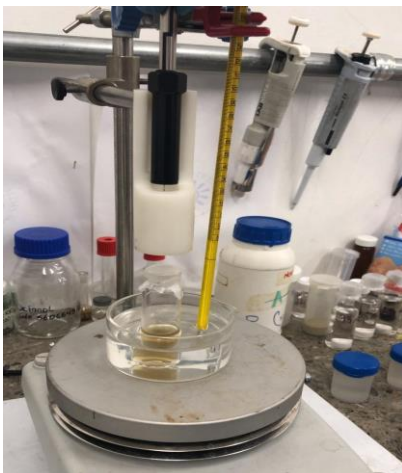


Imagen 11: micro extracción en fase sólida- autoría propia



Imagen 12: muestras de agua antes y después de la fitorremediación - autoría propia



Imagen 13: cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas- fuente: autoría propia

10.3.2 Prueba de cianuro

INFORME DE RESULTADOS: ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL NO DOMÉSTICA.

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUAS ACUATEST S.A.S

1. REPORTE DE RESULTADOS.

1.1. MUESTRA MU-19-420-552-498C

1.1.1. INFORMACIÓN SOBRE LA TOMA DE MUESTRAS

Se entregó la muestra al laboratorio el día 11 de diciembre, de agua residual no doméstica para análisis fisicoquímico.

Punto de toma de muestra: Agua cianurada de mina de oro y plata

2.1.2. RESULTADOS DE LABORATORIO

PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDADES	VALOR	Uc	FECHA ANÁLISIS
Cianuro Total*	ASTM D7511-09	Inyección de flujo segmentado	mg CN/L	8,00	1,04	2019/12/11

Tabla 3: resultado del laboratorio de la muestra de concentración de cianuro en el agua antes de la fitorremediación

1.2. MUESTRA MU-19-420-552-499C

1.2.1. INFORMACIÓN SOBRE LA TOMA DE MUESTRAS

Se entregó la muestra al laboratorio el día 11 de diciembre, de agua residual no doméstica para análisis fisicoquímico.

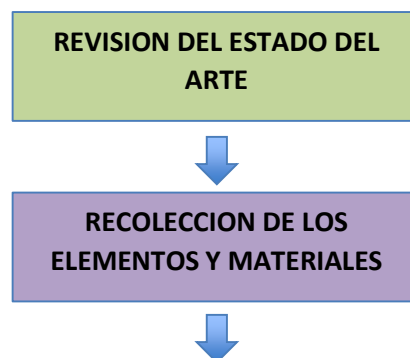
Punto de toma de muestra: Agua luego de pasar por la fitorremediación.

2.2.2. RESULTADOS DE LABORATORIO

PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDADES	VALOR	Uc	FECHA ANÁLISIS
Cianuro Total*	ASTM D7511-09	Inyección de flujo segmentado	mg CN/L	0,381	0,050	2019/12/11

Tabla 4: resultado del laboratorio de la muestra de concentración de cianuro en el agua después de la fitorremediación

DIAGRAMA DE FLUJO PARA METODOLOGÍA USADA



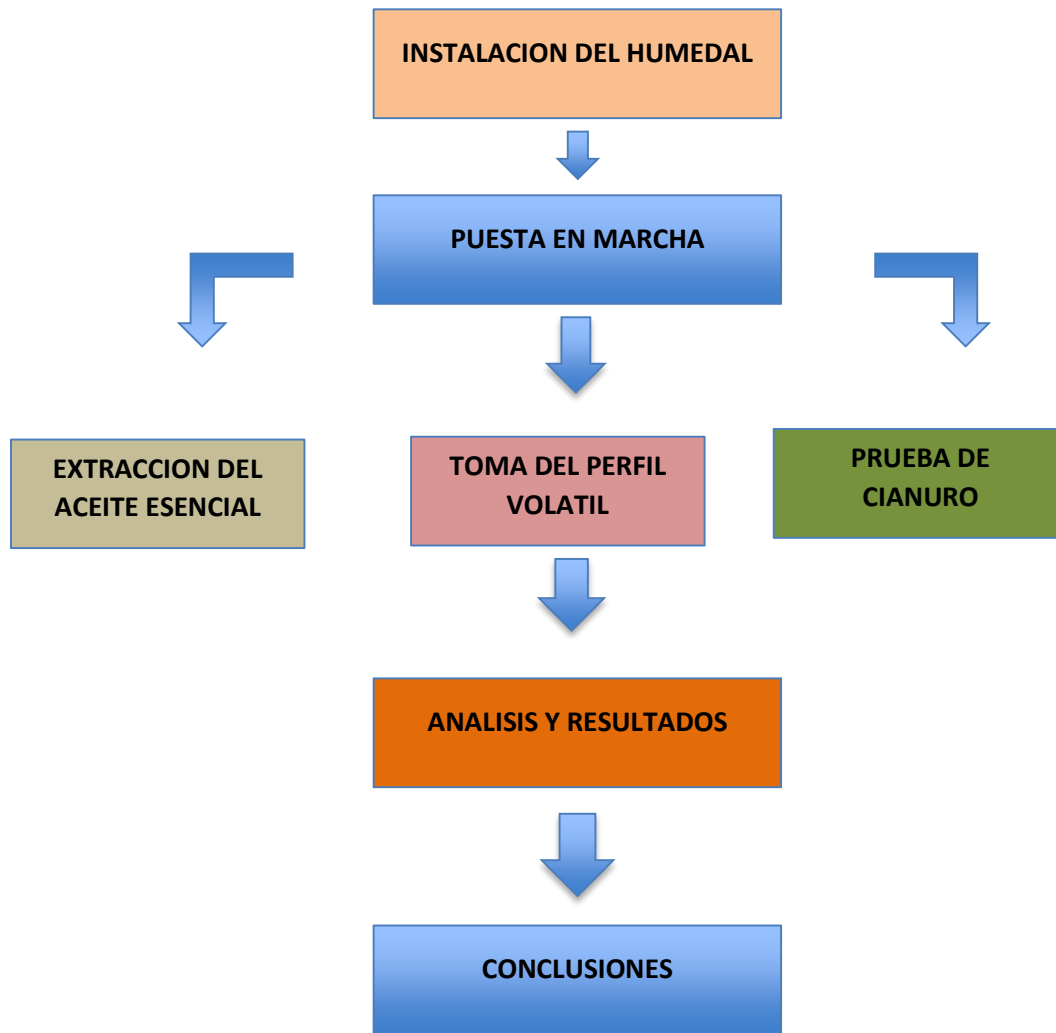


Imagen 14: Metodología de trabajo. Autoría propia

11-RESULTADOS Y ANÁLISIS

11.1Análisis de volátiles de las 6 muestras tomadas.

11.1.1 Planta antes de la fitorremediación.

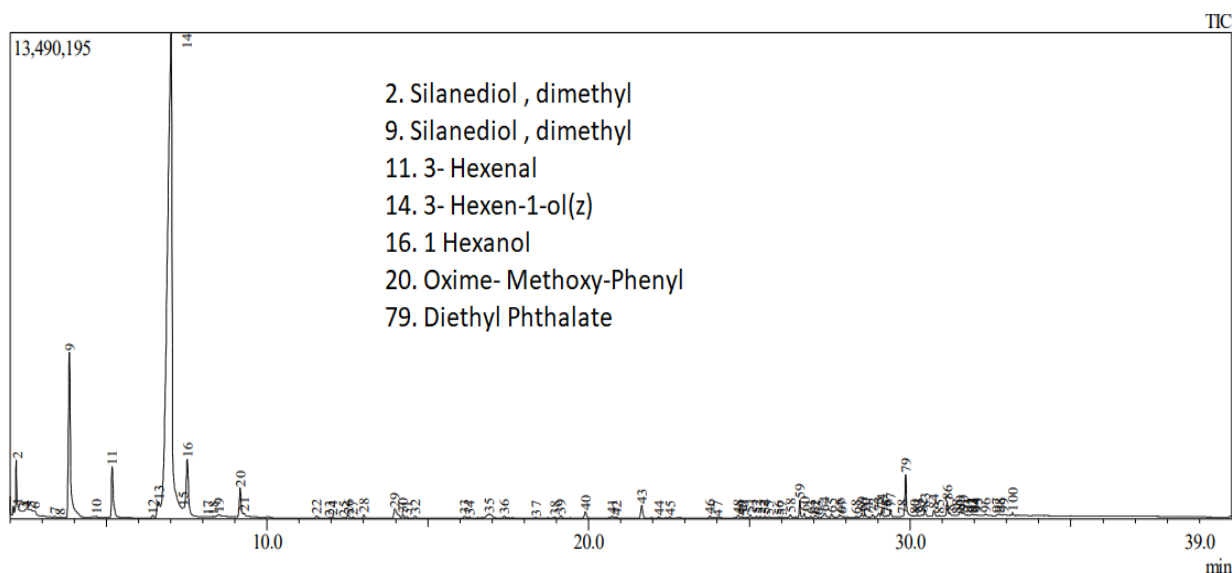


Imagen 15: Cromatograma planta antes de la fitorremediación- anexo 2

Se pudo determinar por GC/MS la presencia de 100 compuestos volátiles en raíz, tallo y hojas de la planta libre de contacto con el cianuro, de estos compuestos se presentan 7 volátiles mayoritarios con una excelente resolución y separación cromatografía, las cuales han sido identificados usando la librería de compuestos del equipo y su porcentaje de similitud entre el espectro de masas

Silanediol, dimethyl

Silanediol, dimethyl

3- Hexenal

3- Hexen-1-ol(z)

1 Hexanol

Oxime- Methoxy-Phenyl

Diethyl Phthalate

Análisis:

La presencia de estos compuestos volátiles permite reconocer el gran valor comercial, fitoterapéutico e industrial del aceite esencial de la *Eichornia Crassipes*, sin embargo,

se hace necesario realizar procesos de cuantificación de los compuestos mayoritarios y establecer los valores de concentración para estos metabolitos y así definir diferentes estrategias de extracción que permitan modelar su uso.

11.1.2 Planta después de la fitorremediación.

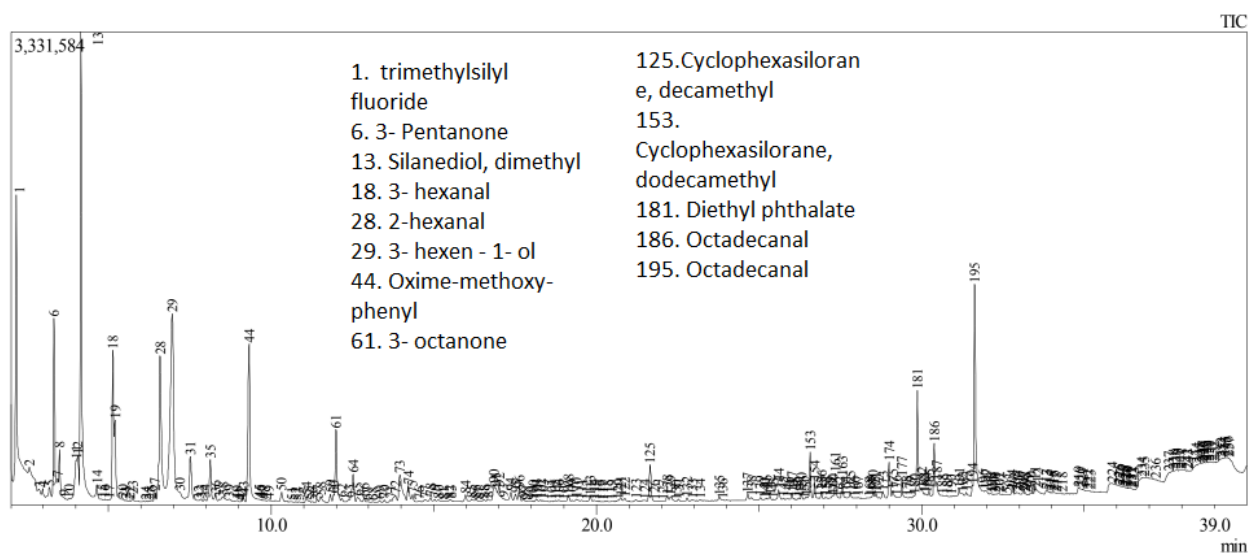


Imagen 16: Cromatograma Planta después de la fitorremediación – anexo 3

Se pudo determinar por GC/MS la PRESENCIA DE 257 COMPUESTOS VOLÁTILES en raíz, tallo y hojas de la planta en contacto con el cianuro, de estos compuestos se presentan 13 volátiles mayoritarios con una excelente resolución y separación cromatografía, las cuales han sido identificados usando la librería de compuestos del equipo y su porcentaje de similitud entre el espectro de masas.

Trimethylsilyl fluoride

3- Pentanone

Silanediol, dimethyl

3- hexanal

2-hexanal

3- hexen - 1- ol

Oxime-methoxy-phenyl

Octanone

Cyclohexasilorane, decamethyl

Cyclohexasilorane, dodecamethyl

Diethyl phthalate

Octadecanal

Octadecanal

Análisis:

Al comparar los volátiles encontrados en la planta libre de exposición al cianuro con respecto a la que ha tenido exposición con cianuro encontramos en este mayor contenido de volátiles lo cual es una evidencia de la respuesta bioquímica de la planta frente al proceso de fitorremediación que se llevó a cabo.

11.1.3 Aceite antes de la fitorremediación.

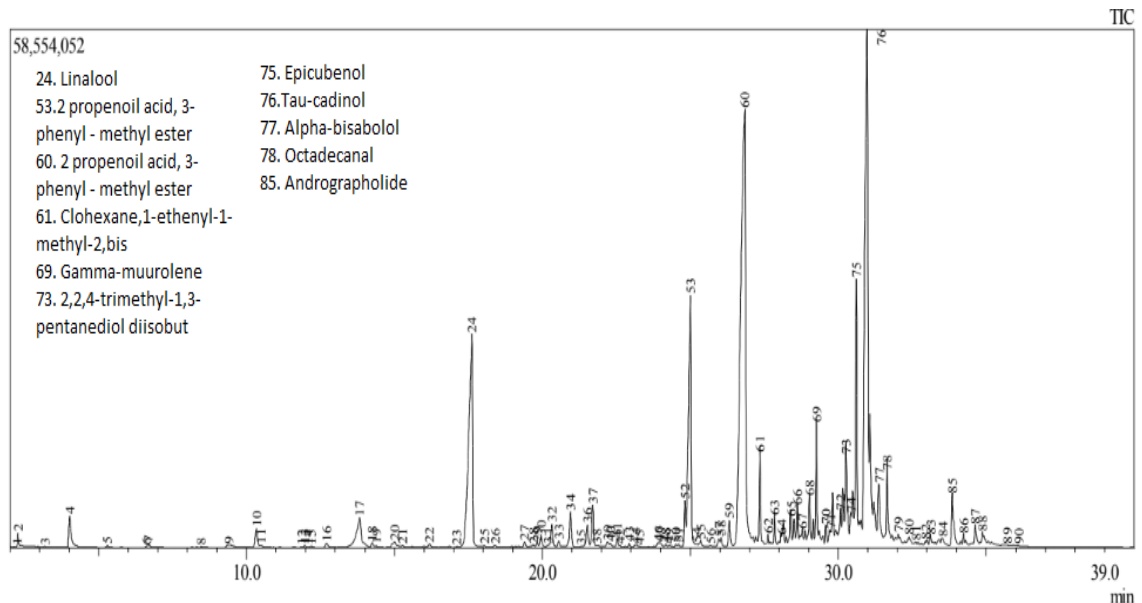


Imagen 17: cromatograma Aceite antes de la fitorremediación- anexo 4

Se pudo determinar por GC/MS la PRESENCIA DE 90 COMPUESTOS VOLÁTILES en el aceite extraído de la planta libre de contacto con el cianuro, de estos compuestos se presentan 11 volátiles mayoritarios con una excelente resolución y separación cromatográfica, las cuales han sido identificados usando la librería de compuestos del equipo y su porcentaje de similitud entre el espectro de masas

Linalool

2 Propenoil acid, 3-phenyl - methyl ester

2 Propenoil acid, 3-phenyl - methyl ester

Clohexane,1-ethenyl-1-methyl-2, bis

Gamma-murolene

2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol diisobut

Epicubenol

Tau-cadinol

Alpha-bisabolol

Octadecanal

Andrographolide

Análisis:

Después del análisis cromatográfico del aceite esencial de la diferentes partes de la planta se encuentra una diversidad de compuestos volátiles que presentan diversas aplicaciones lo cual permite reconocer el aceite como fuente de diversos compuestos que responden a las adaptaciones metabólicas según el medio en el cual se desarrollan las plantas. la presencia de 90 compuestos volátiles en la planta antes del proceso de fitorremediación permite demostrar la variedad metabólica de la planta lo cual puede estar asociado a las diversidades de raíces presentes en la planta lo cual permite la absorción compuestos de tipo orgánico e inorgánico presentes en el agua donde se encuentre la planta.

11.1.4 Aceite después de la fitorremediación.

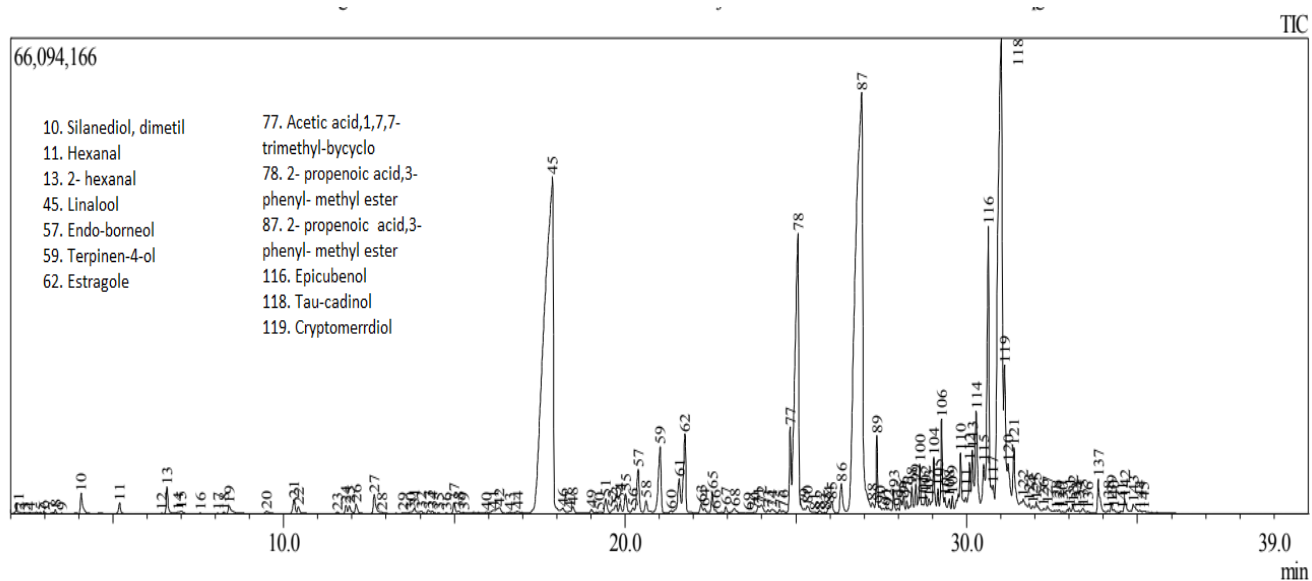


Imagen 18: cromatograma Aceite después de la fitorremediación- anexo 5

Se pudo determinar por GC/MS la PRESENCIA DE 145 COMPUESTOS VOLÁTILES en el aceite esencial de la planta después de haber estado en contacto con el cianuro, de estos compuestos se presentan 13 volátiles mayoritarios con una excelente resolución y separación cromatográfica, las cuales han sido identificados usando la librería de compuestos del equipo y su porcentaje de similitud entre el espectro de masas

Silanediol, dimetil

Hexanal

2- hexanal

Linalool

Endo-borneol

Terpinen-4-ol

Estragole

Acetic acid,1,7,7- trimethyl-bycyclo

2- propenoic acid,3- phenyl- methyl ester

2- propenoic acid,3- phenyl- methyl ester

Epicubenol

Tau-cadinol

Cryptomerriol

Análisis:

Al realizar el análisis de los diferentes tipos de compuestos volátiles mediante cromatografía de gases posterior al contacto entre la planta y el proceso de fitorremediación se evidencia la diferente gama de compuestos que aparecen en procesos bioquímicos asociados a la respuesta metabólica de la planta frente a la exposición con compuestos contaminantes como lo puede ser el cianuro y su cambio de degradación o transformación de metabolitos específicamente en compuestos tipo terpenos los cuales son ampliamente reconocidos como sustancias que las plantas generan para garantizar la comunicación entre plantas, la respuesta ante el estrés metabólico que afronta la planta en diferentes momentos al igual que la atracción a polinizadores para poder generar la dispersión de sustancias en el ambiente.

11.1.5 Agua cianurada antes de la fitorremediación.

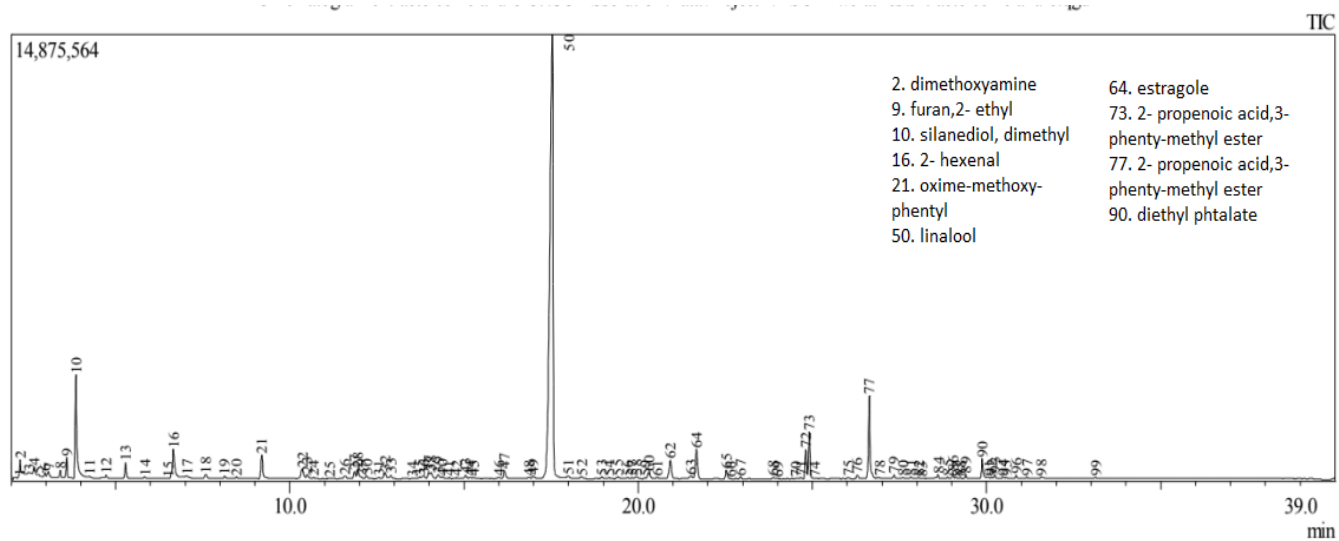


Imagen 19: cromatografía Agua cianurada antes de la fitorremediación. Anexo 6

Se pudo determinar por GC/MS la PRESENCIA DE 237 COMPUESTOS VOLÁTILES, en el agua antes de haber pasado por el proceso de fitorremediación de estos compuestos se presentan 10 volátiles mayoritarios con una excelente resolución y separación cromatográfica, las cuales han sido identificados usando la librería de compuestos del equipo y su porcentaje de similitud entre el espectro de masas

Dimethoxyamine

Furan,2- ethyl

Silanediol, dimethyl

2- hexenal

Oxime-methoxy-phentyl

Linalool

Estragole

2- propenoic acid,3-phenty-methyl ester

2- propenoic acid,3-phenty-methyl ester

Diethyl phtalate

Análisis:

La presencia de 237 compuestos volátiles en al agua cianurada antes del proceso de fitorremediación evidencia la cantidad de procesos metabólicos que se llevan a cabo en el nivel acuoso que genera la interacción entre minerales, sales y diferentes compuestos orgánicos que se pueden presentar en el cuerpo de agua estudiado además que se demuestra mediante el seguimiento por cromatografía de gases, diferentes procesos de interacción bioquímica en el medio.

11.1.6 Agua cianurada después de la fitorremediación

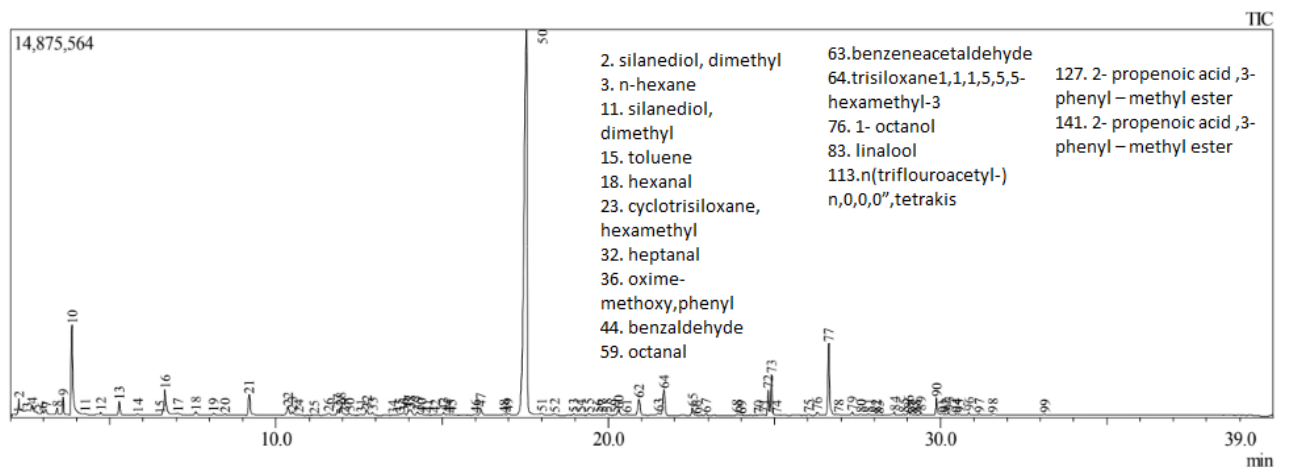


Imagen 20: Cromatograma agua cianurada después de la fitorremediación- anexo 7

PRESENCIA DE 99 COMPUESTOS VOLÁTILES en el agua después de haber pasado por el proceso de fitorremediación. De estos compuestos se presentan 19 volátiles mayoritarios con una excelente resolución y separación cromatográfica, las cuales han

sido identificados usando la librería de compuestos del equipo y su porcentaje de similitud entre el espectro de masas

Silanediol, dimethyl

n-hexane

Silanediol, dimethyl

Toluene

Hexanal

Cyclotrisiloxane, hexamethyl

Heptanal

Oxime-methoxy, phenyl

Benzaldehyde

Octanal

Benzeneacetaldehyde

Trisiloxane 1,1,1,5,5,5- hexamethyl-3

1- octanol

Linalool

n-(trifluoroacetyl-) n,0,0,0", tetrakis

2- propenoic acid ,3-phenyl – methyl ester

2- propenoic acid ,3-phenyl – methyl ester

Phenol,2,6-bis (1,1- dimethylethy) -4

Diethyl phthale

Análisis:

Es muy evidente la disminución de volátiles presentes en el cuerpo de agua después del proceso de fitorremediación proceso que se puede asociar a la acción de transformación realizada por la planta siendo eficiente en proceso de absorción de contaminantes y de transformación en diferentes compuestos producto del metabolismo secundario en la planta.

ANÁLISIS:

CANTIDAD DE COMPUESTOS VOLÁTILES ENCONTRADOS EN LAS MUESTRAS:

MUESTRAS	ANTES DEL PROCESO DE FITORREMEDIACIÓN	DESPUÉS DEL PROCESO DE FITORREMEDIACIÓN
PLANTA	100	257
ACEITE ESENCIAL	90	145
AGUA	237	99

Tabla 5: cantidad de compuestos volátiles encontrados en las muestras

Se puede observar que en la planta y el aceite esencial antes de la fitorremediación se encontraron menos compuestos volátiles comparados con los compuestos encontrados en la planta y el aceite después del proceso lo cual indica que el proceso fue efectivo ya que estas muestras retuvieron más compuestos de los que estaban en el agua cianurada. También podemos observar de una manera muy clara la eficiencia del proceso de la fitorremediación con *Eichornia Crassipes* ya que el agua antes de pasar por el proceso de fitorremediación presentaba 237 compuestos volátiles y después de haber pasado por dicho proceso se hallaron 99 volátiles es decir una menor cantidad, lo cual podemos analizar que la planta absorbió una gran cantidad de ellos.

PORCENTAJE DE REMOCIÓN

Para hallar el porcentaje de remoción y la eficiencia del proceso usamos la concentración inicial y final del agua que contenía el cianuro. La concentración inicial fue la muestra que contenía cianuro extraída de la mina y sin haber pasado por el proceso de fitorremediación, y la concentración final fue la muestra del agua que contenía cianuro después de haber pasado por el proceso de fitorremediación.

$$\%REMOCION = \frac{C_0 - C}{C_0} * 100$$

$$\%REMOCION = \frac{8,00 - 0,381}{8,00} * 100$$

$$\%REMOCION = 95.23\%$$

CINETICA

PRIMER ORDEN

$$t = 13 \text{ dias}$$

$$C_0 = 8,00$$

$$C = 0,381$$

$$T = \int_{C_0}^C \frac{d_c}{r}$$

$$r = -KC$$

$$T = \int_{C_0}^C -\frac{d_c}{KC}$$

$$T = -\frac{1}{K} \int_{C_0}^C \frac{d_c}{C}$$

$$T = -\frac{1}{K} \int_{C_0}^C \frac{d_c}{C}$$

$$T = \frac{1}{K} \ln C \Big|_{C_0}^C$$

$$K = -\frac{1}{t} [(\ln C - \ln C_0)]$$

$$K = -\frac{1}{13} [(\ln 0,381 - \ln 8,00)]$$

$$K = \frac{3,0443}{13}$$

$$K = 0,2341d^{-1}$$

CINÉTICA SEGUNDO ORDEN

$$R = -K_2 C^2$$

$$K_2 = \frac{C_A - C_E}{T C_E C_A}$$

$$K_2 = \frac{8,00 - 0,381}{13 * 0,381 * 8,00}$$

$$K_2 = 0,1922d^{-1}$$

12-CONCLUSIONES

- El estudio de Cianuro realizado por el laboratorio Acuatest mostró que la concentración final de cianuro del agua después de haber pasado por el proceso de fitorremediación fue de 0,381 mg CN/L comparando este valor con el artículo 10 de la resolución 0631 de 2015 donde habla de los límites máximos permisibles de aguas residuales no domésticas a cuerpos de agua superficiales de actividades de minería donde el valor máximo del cianuro proveniente de la extracción de oro es de 1.00 mg/L lo que indica que el agua después de haber pasado por el proceso de fitorremediación no incumple con la norma y puede ser vertida a cuerpos de agua superficial causar un alto impacto.
- Los compuestos volátiles encontrados en la planta antes del proceso de fitorremediación fue de 100 volátiles y después de haber pasado por el proceso fueron 257 volátiles hallados a partir de la cromatografía de gases lo que indica que la planta absorbe compuestos presentes en el agua residual de la mina de oro.
- Los compuestos volátiles encontrados en el aceite esencial extraído de la planta antes de pasar por la fitorremediación fueron 90 volátiles y después de haber pasado por el proceso se hallaron 145 volátiles lo cual se puede concluir que si hubo una absorción de compuestos.
- Los compuestos volátiles hallados por medio de la cromatografía de gases en el agua antes del proceso de la fitorremediación fueron 237 y después del proceso se hallaron 99 compuestos volátiles es decir que las plantas absorbieron compuestos del agua.
- El porcentaje de remoción del proceso fue de 95.23% es decir que fue muy eficiente ya que fue muy alto.

- La concentración inicial de cianuro en el agua antes del proceso de fitorremediación fue de. mg CN/L donde sobrepasaba los límites permitidos por la norma y la concentración después de haber pasado por el proceso de fitorremediación fue de 0,381 mg CN/L hubo una reducción notable en la concentración de cianuro.
- De acuerdo a los resultados obtenidos podemos concluir que los humedales artificiales son una técnica eficiente y de muy bajo costo para dar cumplimiento a la resolución 31 de 215, donde establecen los valores máximos permisibles para los vertimientos de ARnD a cuerpos de agua superficiales.
- Las plantas se vieron un poco afectadas después del proceso de fitorremediación ya que las hojas empezaron a quemarse un poco por la presencia de este metal pesado en el agua.

13-RECOMENDACIONES

- Se hace necesario realizar procesos de cuantificación de metabolitos mayoritarios para establecer procesos de extracción o asilamiento de los metabolitos para así contribuir en los posibles usos del aceite esencial de la planta.
- Optimizar los procesos para la obtención del aceite esencial de la planta se convierte en una estrategia muy importante para valorizar industrialmente el aceite de la planta.
- Fomentar el uso de procesos de fitorremediación para distintos contaminantes es muy importante para la disminución de contaminantes mineros e industriales.

14-ANEXOS

Anexo 1: Resultados de prueba de cianuro para las dos muestras de agua antes y después del proceso de fitorremediación

Anexo 2: Resultados del perfil volátil de la planta antes del proceso de fitorremediación

Anexo 3: Resultados del perfil volátil de la planta después del proceso de fitorremediación

Anexo 4: Resultados del perfil volátil del aceite esencial antes del proceso de fitorremediación

Anexo 5: Resultados del perfil volátil del aceite esencial después del proceso de fitorremediación

Anexo 6: Resultados del perfil volátil del agua antes del proceso de fitorremediación

Anexo 7: Resultados del perfil volátil del agua después del proceso de fitorremediación

15-REFERENCIAS

- Ebel, M., Evangelou, M. and Schaeffer, A. (2007). Cyanide phytoremediation by water hyacinths (*Eichhornia crassipes*). *Chemosphere*, 66(5), pp.816-823.
- Saha, P., Mondal, A., & Sarkar, S. (2018). Phytoremediation of cyanide containing steel industrial wastewater by *Eichhornia crassipes*. *International Journal of Phytoremediation*, 20(12), pp.1205–1214.
- Larsen, M., Trapp, S., & Pirandello, A. (2004). Removal of cyanide by woody plants. *Chemosphere*, 54(3), pp.325–333.
- Dimitrova, T., Repmann, F. and Freese, D. (2019). Detoxification of ferrocyanide in a soil–plant system. *Journal of Environmental Sciences*, 77, pp.54-64.
- Álvarez, R., Ordóñez, A., Martínez, T., Loredó, J., Pendás, F., & Younger, P. (n.d.). Passive treatment for the removal of residual cyanide in drainage from closed gold mine tailing ponds, pp.1–11.
- Demchak, J., Morrow, T. and Skousen, J. (2001). Treatment of acid mine drainage by four vertical flow wetlands in Pennsylvania. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 1(1), pp.71-80.
- Gandy, C., Davis, J., Orme, P., Potter, H. and Jarvis, A. (2016). Metal removal mechanisms in a short hydraulic residence time subsurface flow compost wetland for mine drainage treatment. *Ecological Engineering*, 97, pp.179-185.
- Gessner, T., Kadlec, R. and Reaves, R. (2005). Wetland remediation of cyanide and hydrocarbons. *Ecological Engineering*, 25(4), pp.457-469.
- Khan, S., Ahmad, I., Shah, M., Rehman, S. and Khaliq, A. (2009). Use of constructed wetland for the removal of heavy metals from industrial wastewater. *Journal of Environmental Management*, 90(11), pp.3451-3457.
- S. Adekunle, A. (2012). Removal of heavy metals from industrial effluents by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 4(11).
- Maine, M., Suñe, N., Hadad, H., Sánchez, G. and Bonetto, C. (2006). Nutrient and metal removal in a constructed wetland for wastewater treatment from a metallurgic industry. *Ecological Engineering*, 26(4), pp.341-347.
- Mays, P. and Edwards, G. (2001). Comparison of heavy metal accumulation in a natural wetland and constructed wetlands receiving acid mine drainage. *Ecological Engineering*, 16(4), pp.487-500.
- Sahu, O. (2014). Reduction of Heavy Metals from Waste Water by Wetland. *International Letters of Natural Sciences*, 12, pp.35-43.

Sheoran, A. (2006). Performance of Three Aquatic Plant Species in Bench-scale Acid Mine Drainage Wetland Test Cells. *Mine Water and the Environment*, 25(1), pp.23-36.

Shibambu, C. S., Gumbo, J. R., & Gitari, W. M. (2017). Field study on heavy metal removal in a natural wetland receiving municipal sewage discharge. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 12(1), pp.1–10.

Álvarez, R., Ordóñez, A., Loredó, J., & Younger, P. L. (2013). Wetland-based passive treatment systems for gold ore processing effluents containing residual cyanide, metals and nitrogen species. *Environmental Sciences: Processes and Impacts*, 15(11), pp.2115–2124.

Maine, M., Suñe, N., Hadad, H., Sánchez, G. and Bonetto, C. (2009). Influence of vegetation on the removal of heavy metals and nutrients in a constructed wetland. *Journal of Environmental Management*, 90(1), pp.355-363.

Ruiz-López, Vianey, & González-Sandoval, María del Refugio, & Barrera-Godínez, José Antonio, & Moeller-Chávez, Gabriela, & Ramírez-Camperos, Esperanza, & Durán-Domínguez-de-Bazúa, María del Carmen (2010). Remoción de Cd y Zn de una corriente acuosa de una empresa minera usando humedales artificiales. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25(1),27-34.[fecha de Consulta 6 de Febrero de 2020]. ISSN: 0186-6036.

Kumar, R., Saha, S., Dhaka, S., Kurade, M., Kang, C., Baek, S. and Jeon, B. (2016). Remediation of cyanide-contaminated environments through microbes and plants: a review of current knowledge and future perspectives. *Geosystem Engineering*, 20(1), pp.28-40.

Dominguez, M.C., Gómez, S. & Ardila, A.N. (2016) fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera. *UGCiencia*, 22 227-237.

-Yépez, C. G. P., & Sánchez, J. R. V. (2012). FITORREMEDIACIÓN DE LAS AGUAS DEL CANAL DE RIEGO LATACUNGA-SALCEDO-AMBATO MEDIANTE HUMEDALES VEGETALES A NIVEL DE PROTOTIPO DE CAMPO. SALCEDO–COTOPAXI.

-Delgadillo- López, A. E., González- Ramírez, C. A., Prieto- García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.

-Llantoy, P., Raúl, V., & Valderrama Negrón, A. C. (2014). Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de Cadmio (II) y Mercurio (II) con la especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(3), 164-173.

García, A. Á., & Carril, E. P. U. (2011). Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (biología)*, 2(3).

Bjerrum, T., & Gladrow, W.-. (2017). No ESTUDIO DEL BUCHON DE AGUA (*Eichornia crassipes*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Ramírez, Augusto V.. (2010). Toxicidad del cianuro: Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre. *Anales de la Facultad de Medicina*, 71(1), 54-61. Recuperado en 05 de junio de 2019, de

(Cyanide), R. de S. P.-C. (n.d.). *Cianuro: Toxicidad y Destrucción Biológica*. Retrieved from <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38482740/cianurotoxdestrucbiologica.pdf?response-content-disposition=inline%253B>

filename%253DCianuro_toxicidad_y_destruccion_Biologic.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%252

Guerrero, J. (2005). Cianuro: Toxicidad y Destrucción Biológica. *El Ingeniero de Minas*, 10(November 2013), 22–25. Retrieved from <http://www.sabetodo.com/documentos/cianurotoxdestrucbiologica.pdf>

QUISPE, Z. (2017). *Universidad Nacional De San Cristóbal*. 92.

Bjerrum, T., & Gladrow, W.-. (2017). *No ESTUDIO DEL BUCHON DE AGUA (Eichornia crassipes) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*

Mark J. Logsdon, MSc Karen Hagelstein, PhD, CIH Terry I. Mudder, PhD.(2001).EL MANEJO DEL CIANURO EN LA EXTRACCIÓN DE ORO.Ottawa, Ontario:*CONSEJO INTERNACIONAL DE METALES Y MEDIO AMBIENTE*.

Marín,J. Céspedes,C.(2007).COMPUESTOS VOLÁTILES DE PLANTAS ORIGEN, EMISIÓN, EFECTOS, ANÁLISIS Y APLICACIONES AL AGRO,*Rev Fitotec Mex*,Vol 30(327 – 351).

Echevarria, N., Tobon, O., & Atehortúa, N. (2016). *Manual de Producción y Consumo Sostenible Gestión del Recurso Hídrico*.

Mas, M. A., Aguirre, F. L., & Amaya, G.. (2005). Evaluación de los Procesos de Lixiviación por Agitación Convencional y Carbón en Pulpa en la Hidrometalurgia del Oro. *Información tecnológica*, 16(5), 27-33.

[RESOLUCIÓN 1207 DE 2014]. (2014, 25 julio).

Delgadillo-López, Angélica Evelin, González-Ramírez, César Abelardo, Prieto-García, Francisco, Villagómez-Ibarra, José Roberto, & Acevedo-Sandoval, Otilio. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.

Marrero, J. Sánchez, I. Pérez, O. (2012).Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, vol. 46, no. 3 (0138-6204).Recuperado desde: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223124988007.pdf>

Garbiso,C. Epelde,L. Becerril,J.(2008).Fitorremediación.*Ecologista*,N-57.

Manual Gestión del Recurso Hídrico

citar articulo de internet

Apellido, Inicial del Nombre. (Año de publicación). Título del artículo. *Nombre de la revista en cursiva*, Volumen de la revista en cursiva (Número de edición)

Garbiso,C. Epelde,L. Becerril,J.(2008).Fitorremediación.*Ecologista*,N-57.

Granja, M. F. G., & Ramírez-Cando, L. (2015). Eichornia crassipes, su invasividad y potencial fitorremediador. *La Granja*, 22(2), 5-11.