

EVALUACIÓN *In vitro* DE *Eichhornia crassipes* COMO ALTERNATIVA PARA EL  
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN UNA PLANTA DE  
BENEFICIO DE MINERÍA DE ORO EN SUÁREZ – CAUCA



EVA MARIA VALENCIA PERLAZA  
VIRNE KALICA FLÓREZ SINISTERRA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
2020

EVALUACIÓN *In vitro* DE *Eichhornia crassipes* COMO ALTERNATIVA PARA EL  
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN UNA PLANTA DE  
BENEFICIO DE MINERÍA DE ORO EN SUÁREZ – CAUCA



EVA MARIA VALENCIA PERLAZA  
VIRNE KALICA FLÓREZ SINISTERRA

Trabajo de grado en modalidad de investigación para optar el título de ingeniería  
ambiental y sanitaria

Directora  
DIANA MILENA MUÑOZ, MSc

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
2020

## NOTA DE ACEPTACIÓN

Hacemos constar que el presente trabajo de grado ha sido evaluado y aprobado por la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, como requisito para optar por el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario.

Diana Milena Muñoz Solarte

---

Diana Milena Muñoz Solarte  
Director  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Clara Milena Concha Lozada

---

Clara Milena Concha Lozada  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Margarita Salazar Sánchez

---

Margarita Salazar Sánchez  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Popayán, Mayo de 2020

## DEDICATORIAS

Le dedico este trabajo a **Dios**, quien con sus bendiciones ilumina siempre mi vida, es mi luz, mi esperanza, y mi guía. Por ser mi fortaleza, nunca permitir que desfallezca, por brindarme la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos y experiencias. A mis Padres, **María Eugenia Perlaza Quiñones** y **Jhon Jawer Valencia Riascos** que con su ejemplo, esfuerzo y ganas de regalarme el mundo; Depositaron toda su confianza, creyeron en mí y siempre me dieron ánimo en los momentos que creía que no podría más. Son fuente de mi inspiración y ganas de salir adelante. Por esto no desistí hasta lograr mis sueños y compartir mi felicidad con ustedes.

A mi hermana Isa Shamel Valencia Perlaza para que siempre siga mis pasos y logra cada uno de sus objetivos, espero Dios nos llene de vida para poder ser parte de tus éxitos. A mi abuela María Gloria Nieves por siempre estar conmigo y desear lo mejor para mí. Sé que no tiene los más grandes recursos económicos para apoyarme, pero cuento con su amor incondicional y eso es lo más importante. Mi abuelo **Teófilo Antonio Perlaza** por ser el más orgulloso por mis logros. Aunque no cuento con su presencia sé que la esencia de su ser y su alma han estado siempre conmigo y me acompañan en cada paso.

### EVA MARIA VALENCIA PERLAZA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber alcanzado uno de mis más grandes anhelos, a mi madre, por haberme enseñado que no hay que ser rico para alcanzar los sueños, por ser lo más importante en mi vida, por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional a pesar de todos los obstáculos y necesidades que se presentan y ha tenido que pasar para ayudarme a salir a delante y cumplir mis sueños, por ser sin duda mi mejor ejemplo a seguir, por ser mi mejor amiga y estar para mí siempre que la necesito. A mi hermana Lorena quien fue mi codeudor para que yo pudiera estudiar y quien considero mi segunda madre, por compartir momentos muy importantes y significativos conmigo.

A todos mis familiares de los que en algún momento no solo recibí ayuda económica sino también apoyo moral, en especial a mi primo Hemilson quien siempre estuvo ahí dándome fuerzas y recordándome que era capaz de esto y mucho más, a mis compañeros de clase que de una u otra manera me ayudaron compartiéndome sus conocimientos, a todos y cada uno de los docentes de la corporación universitaria

Autónoma del Cauca que en muchas ocasiones dedicaron su valioso tiempo a enseñarme muchas cosas que en momentos como este iba a necesitar.

**VIRNE KALICA FLOREZ SINISTERRA**

### **AGRADECIMIENTOS**

Primero agradezco a Dios por darme la vida y ser mi mayor guía. A todas las personas que me ayudaron y estuvieron en mi proceso de formación como ingeniera ambiental y sanitaria. En especial a mis padres **Jhon Jawer Valencia Riascos y María Eugenia Perlaza Quiñones** por su amor incondicional y todo el apoyo que me han brindado durante mi vida, Por darme la oportunidad de estudiar esta carrera, por su trabajo y sacrificio. Gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí. Estoy tan orgullosa de ustedes a como lo están de mí, es un privilegio ser su hija, son los mejores padres.

A todos los profesores que me han dado un granito de arena compartiendo sus conocimientos y enseñándome de la mejor manera y lo más importante con amor a lo que hacen. En especial a la Biol. **Diana Muñoz Solarte** por enseñarnos e incluirnos en el mundo de la investigación y aceptar ser nuestra directora de trabajo de grado; Son muchas las cosas que de ti aprendimos. Gracias por abrir las puertas de tus conocimientos, tener siempre esas ganas de enseñar con una sonrisa en tu rostro y sobre todo por enseñarnos a luchar por lo que queremos y no desistir.

**EVA MARIA VALENCIA PERLAZA**

Quiero expresar mi gratitud principalmente a Dios por bendecirme la vida, por siempre ser la guía a lo largo de mi existencia, por ser fortaleza en aquellos momentos de tristeza y debilidad. También agradecer inmensamente a mis padres: Juan Carabalí y Nubia Sinisterra, por ser los principales promotores de mis sueños, por darme el mejor ejemplo de disciplina y honradez, por siempre creer y valorar mis expectativas, por los valores, concejos y principios que me han inculcado siempre, pero mi agradecimiento más profundo es a mi madre que siempre ha sido y será padre y madre para mí, es a ella a quien le debo todo lo que soy y seré algún día, gracias te doy por confiar en mí, por ser mi más grande apoyo y el ser más importante en mi vida.

Agradecer también a todos mis hermanos que sin duda han sido de mucho apoyo en mi camino hacia la profesión, a Lorena que ha sido como mi segunda madre y está siempre que la necesito. De igual manera agradecer a la corporación universitaria Autónoma del Cauca por brindarme todos los elementos necesarios para llevar a cabo cada una de las actividades académicas, a la facultad de ciencias ambientales y desarrollo sostenible, a los docentes de la corporación, quienes con

la enseñanza de sus grandes conocimientos hicieron que pueda crecer cada día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación y apoyo incondicional.

**VIRNE KALICA FLÓREZ SINISTERRA**  
**TABLA DE CONTENIDO**

	Pág.
1. CAPITULO I: PROBLEMA .....	17
1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	17
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	18
1.3. OBJETIVOS .....	21
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	21
1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICO .....	21
2. CAPITULO II: REFERENTES CONCEPTUALES .....	22
2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	22
2.1.1. MINERÍA DE ORO Y METALES PESADOS .....	22
2.1.2. FITORREMEDIACIÓN CON PLANTAS ACUÁTICAS .....	22
2.1.3. BENEFIO DEL BUCHON DE AGUA ( <i>Eichhornia Crassipes</i> ) .....	23
2.2. ANTECEDENTES.....	23
2.3. MARCO NORMATIVO.....	30
3. CAPITULO III: METODOLOGIA .....	32
3.1. Diseño experimental.....	32
3.2. Establecimiento de concentraciones alta, media y baja de aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería para evaluar eficiencia de plantas <i>Eichhornia crassipes in vitro</i> .....	34
3.3. Evaluación de la concentración <i>in vitro</i> de Hg en agua residual y <i>Eichhornia crassipes</i> expuestas a diluciones de aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería de oro .....	34
3.4. Determinación de los porcentajes de remoción de Hg en agua residual proveniente de una planta de beneficio de minería de oro.....	35
3.5. Registro y análisis estadístico .....	35
4. CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANALISIS .....	36

4.1	Establecimiento de concentraciones alta, media y baja de aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería para evaluar eficiencia de plantas <i>Eichhornia crassipes in vitro</i> .....	36
4.1.1.	Parámetros fisicoquímicos durante la estandarización en condiciones de laboratorio. ....	41
4.1.2.	Concentraciones altas, media baja de aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería de oro .....	41
4.1.3.	Evaluación de la concentración <i>in vitro</i> en Hg en agua residual y <i>Eichhornia Crassipes</i> .....	44
4.1.4.	Caracterización físico química de las concentraciones altas, media y baja del agua residual proveniente de actividad minera artesanal de Suárez-cauca .....	44
4.1.5.	Descripción morfológica de <i>Eichhornia crassipes</i> durante la exposición a aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería de oro de 0 a 168 horas .....	55
4.1.6.	Determinación de los porcentajes de remoción de Hg en agua residual provenientes de una planta de beneficio de minería de oro tratada con <i>Eichhornia crassipes</i> durante 0h, y 168h .....	61
5.	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	64
5.1.	CONCLUSIONES.....	64
5.2.	RECOMENDACIONES.....	65

## LISTA TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Ecuaciones para definir concentraciones .....	32
Tabla 2. Rangos de concentración de oxígeno disuelto .....	37
Tabla 3. Concentraciones altas, media baja de agua residual .....	41
Tabla 4. Caracterización de los parámetros físico químicos promedio evaluados cada 24 horas.....	42
Tabla 5. Valores promedio de los parámetros físico químicos .....	44
Tabla 6. ANOVA de Parámetros fisicoquímicos complementarios.....	53
Tabla 7.comportamiento de la especie <i>Eichhornia crassipes</i> .....	54
Tabla 8. Peso y altura promedio de <i>Eichhornia crassipes</i> .....	55
Tabla 9. Concentración de Hg en plantas .....	57
Tabla 10. Concentración de Mercurio de 0 a 168 horas.....	59



## LISTAS FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Comportamiento del OD.....	37
Figura 2. Variación de la temperatura .....	38
Figura 3. Comportamiento de la DQO.....	38
Figura 4. Comportamiento de los nitritos.....	39
Figura 5. Comportamiento de los nitratos .....	39
Figura 6. Comportamiento del fósforo .....	40
Figura 7. Concentración de Hg en agua residual de actividad minera artesanal Vs tiempo .....	45
Figura 8. Diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre medias de los tratamientos Hg y Control.....	46
Figura 9. Comportamiento del Nitrógeno Total.....	47
Figura 10. Comportamiento del Fosforo Total.....	48
Figura 11. Comportamiento del Oxígeno Disuelto.....	49
Figura 12. comportamiento del pH .....	50
Figura 13. comportamiento de la Turbidez.....	51
Figura 14. Comportamiento de la Conductividad .....	52
Figura 15. Porcentajes de remoción con respecto al tiempo.....	59
Figura 16. Comparación entre concentraciones de Hg iniciales y Finales .....	60

## LISTAS DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Estudios Internacionales con <i>Eichhornia Crassipes</i> .....	21
Cuadro 2. Estudios nacionales con <i>Eichhornia Crassipes</i> .....	23
Cuadro 3. Estudios locales con <i>Eichhornia Crassipes</i> .....	28
Cuadro 4. Marco legal del uso racional y eficiente del agua y minería.....	29

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	<b>Pág.</b>
Fotografía 1. Distribución de tratamientos para la evaluación in vitro. A) Bloque 1 B) Bloque 2 C) Bloque 3.....	32
Fotografía 2. A) recolección de plantas, B) Recolección Agua Natural de aljibe, C) Monitoreo de parámetros fisicoquímicos .....	35
Fotografía 3. Diseño del montaje establecido en el laboratorio (3 concentraciones y control negativo).....	41
Fotografía 4. La planta después de 168 horas .....	57

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexos A. Soporte de resultado de Laboratorio de análisis de agua y alimento de la Universidad Tecnológica de Pereira.....	71
Anexos B. soporte resultados de Mercurio en planta del ingeniería y laboratorio de Análisis ambiental .....	80
Anexos C. cuadro de registro de los Parámetros fisicoquímicos.....	83
Anexos D. Morfología, adaptabilidad y supervivencia de la especie <i>Eichhornia crassipes</i> . .....	84
Anexos E. Registro fotográfico .....	85

## RESUMEN

La actividad minera genera alteraciones al ambiente y contaminación debido, a las descargas de sus aguas residuales que contienen metales pesados tóxicos, como por ejemplo la liberación intencional de mercurio, el cual se utiliza para la extracción de oro. Por esto, en el estudio se realizó un bioensayo con el fin de evaluar in vitro a *Eichhornia crassipes* como alternativa de fitorremediación en aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería de oro en Suarez - Cauca, el montaje fue realizado en el laboratorio de química de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. El estudio se realizó en dos fases: i) adaptación de la especie durante un periodo de 5 días y ii) exposición de la planta al agua del residual proveniente de un entable minero de Suarez Cauca con concentración de mercurio, donde se llevó a cabo la fitorremediación durante 8 días. Las plantas mostraron positivamente una buena adaptación al medio, dado que este presentó altos valores de nutrientes, como el nitrógeno y fósforo lo cual favorecía la supervivencia de esta. Se establecieron concentraciones alta, media y baja del efluente proveniente de una planta con actividad minera de oro artesanal, se evaluó la eficiencia de la remoción del efluente mediante porcentajes de remoción. Durante una curva de tiempo de 0h a 168h, la distribución se basó en un diseño de bloques aleatorizados, con 3 acuarios que constaban de cuatro divisiones cada uno. Para el establecimiento de concentración inicial y final de Hg en el agua, se enviaron muestras al laboratorio de análisis de aguas y alimentos (método SM: 3112 – B) y para la planta (absorción atómica vapor frío). Los porcentajes de remoción arrojados mediante la planta a las 168 de exposición fueron: 43% para la concentración alta, 42% media y 22% baja, teniendo en cuenta que la concentración inicial de mercurio de 0,63 mg/L y la final 0,22 mg/l. En conclusión, *Eichhornia crassipes* resultó ser una buena alternativa de fitorremediación dado que se encontró un 43%, porcentaje de remoción y promedio máximo alcanzado a las 168 horas, además el mercurio encontrado en el agua residual proveniente de una planta de beneficio de minería de oro fue de 0,63mg/L en la concentración alta, 0,36 mg/L en la concentración media y 0,27mg/L la concentración baja, las cuales superan el 0,002 mg/L valor establecido por la resolución colombiana 0631 de 2015. El mercurio que se encontró presente en la planta fue menor a 0.005 mg/L, tanto a las 0 horas como a las 168h, esto se pudo deber a los altos valores de nutrientes obtenidos y de turbiedad, los cuales hayan podido afectar la eficiencia de la especie, además de una posible sedimentación del metal en el momento del filtrado en el laboratorio para su requerido análisis. Por lo anterior se recomienda realizar diferentes análisis a la planta y extender el tiempo de exposición para determinar su máxima capacidad de absorción.

Palabras claves: *Eichhornia crassipes*, fitorremediación, *in vitro*, concentración, solución madre, porcentaje de remoción, entable minero y metales pesados.

## ABSTRACT

The mining activity alters the environment and generates pollution due to the throw of its waste water away, containing toxic heavy metals, such as the intentional release of mercury, which is used for the extraction of gold. Therefore, a bioassay was conducted in the study to evaluate *Eichhornia crassipes in vitro* as an alternative for phytoremediation in wastewater from a gold mining plant in Suarez Cauca. The assembly was carried out in the chemistry laboratory of Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. The study was carried out in two phases: i) adaptation of the species during a period of 5 days and ii) plant exposure to wastewater from a **Suarez Cauca** mining plant with mercury concentration, where the phytoremediation was carried out during 8 days. The plants showed a good adaptation to the environment, since it presented high values of nutrients, such as nitrogen and phosphorus, which favored the survival of the plant. High, medium and low concentrations of the effluent from a plant with artisanal gold mining activity were established, and the efficiency of effluent removal was evaluated by means of removal percentages. During a time period, from 0h to 168h, the distribution was based on a randomized block design, with 3 aquariums consisting of four divisions each. To get the establishment of initial and final Hg concentration in the water, samples were sent to the water and food analysis laboratory (SM method: 3112 - B) and for the plant (cold vapor atomic absorption). The percentages of removal thrown by the plant at the 168 of exposure were: 43% for the high concentration, 42% medium and 22% low, taking into account that the initial mercury concentration was 0.63 mg/L and the final one 0.22 mg/l. In conclusion, *Eichhornia crassipes* turned out to be a good phytoremediation alternative since it was found to have 43%, percentage of removal and maximum average reached at 168 hours. In addition, the mercury found in the wastewater from a gold mining benefit plant was 0.63mg/L at the high concentration, 0.36 mg/L at the medium concentration and 0.27mg/L at the low concentration, which exceed the 0.002 mg/L value established by Colombian resolution 0631 of 2015. The mercury that was found to be present in the plant was less than 0.005 mg/L, both at 0 hours and at 168h. This could be due to the high values of nutrients obtained and turbidity, which could have affected the efficiency of the species, besides a possible sedimentation of the metal at the time of filtration in the laboratory for its required analysis. Therefore, it is recommended to carry out different analyses on the plant and increase the exposure time in order to determine its maximum absorption capacity.

Keywords: *Eichhornia crassipes*, phytoremediation, *in vitro*, stock solution, percentage of removal, mining plant and heavy metals.

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas que poseen riqueza en recursos naturales también son fuentes de diferentes minerales orgánicos e inorgánicos, generalmente en dichos ecosistemas se realizan actividades que generan impactos adversos a su medio. Colombia; es un país que provee de múltiple diversidad y por ende cuenta con riqueza mineral, la explotación desmedida y las condiciones económicas de los pobladores locales generan un crecimiento de minería pequeña a una minería de gran escala. Hoy en día las técnicas usadas para la obtención de oro, se han basado en la utilización irracional de mercurio, que es un elemento que se puede encontrar en diversas formas, no se degrada y es persistente en el ambiente, además puede presentar múltiples afectaciones a quienes se encuentren en contacto con el mismo [1].

Colombia en la producción mundial de oro, al año aporta 41 toneladas en los últimos 5 años. En el siguiente orden por departamentos: Antioquia (43%), Choco (37%), Bolívar (8%), Cauca (4%), Caldas (3%), Nariño (2%). En el departamento del Cauca la minería, se realiza principalmente en los municipios de: Suarez siendo el mayor productor con un (38,5%), seguido Timbiquí que produce aproximadamente (32,6%), por último, Buenos Aires el cual aporta con un (22,6%) según la Agencia Nacional de Minería (ANM) [2].

La actividad minera, convierte el ecosistema en el principal receptor de todos los desechos o emisiones que son generados, diferentes estudios han demostrado que el mercurio se puede bio-acumular en seres vivos o acumularse en suelos, aire y agua [3]. Por esta razón, se realizó un estudio de contaminación donde se tomó en cuenta los parámetros fisicoquímicos de agua residual, ya que pueden mostrar el estado y las reacciones generadas al agua y ecosistemas, medidos en una curva de tiempo de 0-168h en laboratorio, donde se buscaron alternativas para mitigar los impactos que cada día son más relevantes en regiones como el Cauca.

En el estudio se evaluó *in vitro* a *Eichhornia crassipes* como alternativa de fitorremediación para aguas residuales provenientes de entables mineros de Suárez-Cauca, se evidenció que esta alternativa biológica es eficiente para la remoción del contenido de mercurio en agua, el cual fue de 42,85%.

## 1. CAPITULO I: PROBLEMA

### 1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

A nivel mundial la minería de oro es una actividad industrial muy importante, que representa (3,146 – Toneladas métricas al año) [4]. En Colombia se producen (41,06 toneladas) [5]. Esta actividad genera alteraciones al ambiente y contaminación debido, a las descargas de sus aguas residuales que contienen metales pesados tóxicos, como ejemplo la liberación intencional de mercurio, el cual se utiliza para la extracción de oro. El mercurio se ha utilizado históricamente para extracción artesanal y la fiebre del oro ha ocasionado la contaminación de muchos ecosistemas [1].

Colombia en el 2011 fue el 6° país latinoamericano con mayor producción de oro; y el 19° a nivel mundial, una posición que se debe en gran parte a la minería de oro ilegal [1]. Esta actividad se desarrolla aproximadamente en 13 departamentos, el 72% de las minas del país corresponden a pequeña minería y dentro de este porcentaje, el 66% es ilegal. En la minería ilegal el 39% lleva más de 10 años de explotación minera por lo cual pueden ser consideradas como minería tradicional no legalizada [6].

El Cauca es uno de los departamentos más explotados en el país, los daños causados por los más de 350 entables mineros, 800 retroexcavadoras y 50 dragones son cada vez mayores [1]. Suarez – Cauca está ligada principalmente a la explotación del oro, su segunda actividad económica más importante y representa cerca del 27% de la economía local. En general, se caracteriza por la falta de planeación adecuada. El trabajo es manual, ya que su tecnificación es nula o muy escasa [7].

Teniendo en cuenta lo anterior, la fitorremediación con *Eichhornia crassipes*, sugiere una alternativa de tratamiento de aguas residuales de actividad minera, ya que es un proceso de bajo costo, fácil adquisición y se ha reconocido en diversidad de estudios e investigaciones la capacidad de absorción que tiene la planta frente a varios metales pesados. Esto puede ser beneficioso para depurar aguas residuales por medio de fitorremediación y otros procesos [42] [44]. El objetivo de este estudio fue evaluar in vitro a *Eichhornia crassipes*; como alternativa de fitorremediación en



aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería de oro en Suárez- Cauca.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Colombia es rico en biodiversidad y minerales como el oro, carbón, esmeralda, entre otros. Lo que beneficia a muchas poblaciones que explotan estos recursos para su economía y subsistencia, Teniendo en cuenta la problemática relacionada con las aguas residuales de actividad minera de oro, especialmente en Suárez - Cauca, que se constituye en una actividad importante en la economía del departamento sobre su cotidianidad, la extracción de oro tiene repercusiones en sus ámbitos sociales, políticos, económicos, culturales y ambientales [8][9]. Estudiar las alternativas biológicas de tratamiento resulta **pertinente** y **necesario** en áreas donde existe actividad minera de oro, y donde se genera contaminación por metales pesados que son utilizados en sus procesos, lo cual afecta el suelo, aire y ecosistema acuático en general. Los bioensayos *in-vitro* con plantas como el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) resultan una buena alternativa ya que, puede ser aplicado como solución a problemáticas de contaminación en diferentes entornos acuáticos.

Esta alternativa es **viable, factible y económica**, además permiten restaurar ecosistemas y utiliza *Eichhornia crassipes* de manera positiva; favoreciendo la conservación de los recursos naturales sin necesidad de afectarlos. Es necesario realizar este tipo de estudio para reducir los riesgos ambientales y sociales, y a su vez mejorar la calidad del agua en la región, la evaluación de la eficiencia de esta especie se caracteriza por la factibilidad en términos de recursos para su aplicación en aguas con presencia de metales [25].

El objetivo de este proyecto fue evaluar *in vitro* a *Eichhornia crassipes* como alternativa de tratamiento de aguas residuales de plantas de beneficio de minería de oro en la absorción de Hg y determinación de porcentajes de remoción. De esta manera se lograría contribuir con el mejoramiento del ecosistema acuático disminuyendo el impacto generado a nivel ambiental y realizando un aporte a entornos saludables.

### 1.3.OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo general

Evaluar *in vitro* a *Eichhornia crassipes*; como alternativa de fitorremediación en aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería de oro.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer las concentraciones alta, media y baja de aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería de oro.
- Evaluar la concentración *in vitro* de Hg presente en agua residual y *Eichhornia crassipes* en una curva de tiempo de 0-168h.
- Determinar los porcentajes de remoción de Hg en agua residual provenientes de una planta de beneficio de minería de oro tratada con *Eichhornia crassipes* durante 0h y 168h.

## **2. CAPITULO II: REFERENTES CONCEPTUALES**

### **2.1. Marco conceptual**

#### **2.1.1. MINERÍA DE ORO Y METALES PESADOS**

La actividad de extracción del oro en Colombia se podría nominar como atomizada, es decir, existen múltiples actividades de extracción en diferentes zonas, debido a que el oro es un elemento que tiene baja reactividad química, es posible encontrarlo como metal puro en forma de pepitas grandes en los cauces de ríos de montaña, e incluso en lagos y mares. Existen diferentes procesos para la extracción de oro como: el bateo, amalgamación con mercurio proceso en la minería artesanal en el que se usa este elemento para separar y extraer el oro de las rocas o piedras en las que se encuentra, e incluso la extracción con cianuro, estas no cuentan la gran mayoría con una legalidad o formalización en la actividad [10].

El municipio de Suárez (Cauca) presenta una de las mayores de desarrollos mineros en el departamento; donde la extracción de oro se realiza a nivel de pequeña minería además se presentan diferentes tipos de yacimientos como oro de aluvión y filón siendo base fundamental del desarrollo económico de la región [11].

#### **2.1.2. FITORREMIEDIACIÓN CON PLANTAS ACUÁTICAS**

La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen *in situ* o *ex situ* la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas. Utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes. Se han identificado una amplia diversidad de especies que se emplean para este fin. Algunas de ellas, debido a su gran capacidad para acumular metales pesados, reciben el nombre de hiper-acumuladoras. Esta tecnología se hace más efectiva a través de la manipulación genética, lo que mejora la capacidad de remediación de las plantas. Se han diseñado especies vegetales con una mayor capacidad de degradación de contaminantes orgánicos o de acumulación de metales pesados [12] [63].

Se ha identificado diferentes especies usadas para fitorremediación; como es el caso de *Eichhornia Crassipes*. A las cuales se les llama híper-acumuladoras, por su gran capacidad para acumular metales pesados [12].

### **2.1.3. BENEFICIOS DE BUCHÓN DE AGUA (*Eichhornia crassipes*)**

La utilización de macrófita, y por extensión *E. crassipes*, para la remoción de contaminantes de aguas tiene la ventaja de requerir menores recursos económicos y tecnológicos por lo cual podrían ser empleadas inclusive en países en vías de desarrollo, algunos estudios apuntan a la utilidad de *Eichhornia crassipes* como una agente biorremediación, bajo condiciones particulares. Lo expuesto muestra sin lugar a dudas que la planta presenta un fuerte potencial en la recuperación de sistemas acuáticos contaminados por fuentes de tipo antropogénico [13].

Existen diversos estudios que demuestran la eficacia del buchón de agua para la fitorremediación tales como: Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (ii) y mercurio (ii) con la especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), Aprovechamiento potencial del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en Xochimilco para fitorremediación de metales, “bioensayos estáticos para determinar la acumulación de plata en lirio acuático (*Eichhornia crassipes*)”, etc.

## 2.2. ANTECEDENTES

Por medio de revisión bibliográfica de fuentes digitales, se encontraron diferentes estudios realizados en una línea de tiempo de 2012 a 2019. Que utilizaron *Eichhornia crassipes* como absorbente, fitorremediación, de diferentes metales pesados estos nos demuestran la capacidad de remoción de la planta y la viabilidad de su uso. A continuación, se relacionan algunos de los casos donde se ha demostrado que existe o no concentraciones de metales, se puede observar la técnica realizada en cada estudio para los parámetros fisicoquímicos y ensayos biológicos:

Cuadro 1. Estudios Internacionales con *Eichhornia crassipes*

Tema o título	In vitro o In situ	Lugar de estudio	Método	Resultados	Ref.
Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (ii) y mercurio (ii) con la especie <b><i>Eichhornia crassipes</i></b> (Jacinto de agua).	<i>In vitro</i>	Lima; Perú (2014)	*Muestreo de <i>Eichhornia crassipes</i> *Determinación de cadmio (II) y mercurio (II) en las soluciones residuales tratadas con <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)	Luego de 25 días la muestra con dosis A= 1 mL y B= 0,5 mL se mantuvo con hojas y tallos verdes, desarrollando algunas hojas en tamaño, gracias a los nutrientes.	[14]
Aprovechamiento potencial del lirio acuático ( <b><i>Eichhornia crassipes</i></b> ) en Xochimilco para fitorremediación de metales.	<i>In situ</i>	México (2012)	La lectura de los metales en las plantas se realizó con tres métodos: Plasma acoplado inducido-espectrometría de masas; Plasma acoplado inducido-espectroscopia óptica de emisión; Horno de grafito-absorción atómica).	Las concentraciones de metales obtenidos en estructuras aéreas y sumergidas lavadas, mostró que el contenido Al, As, Cd, Co, Fe, Ni, Pb, Sb, Ti, V y Zn fue considerablemente mayor en la estructura sumergida que en la aérea del lirio acuático.	[15]
Capacidad de macrófita <i>Lemna minor</i> y <b><i>Eichhornia crassipes</i></b> para eliminar el níquel.	<i>In vitro</i>	Buenos aires; Argentina (2012)	La concentración de metal en la solución fue determinada por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer, AAnalyst 100; CNEA-Comisión Nacional de	La concentración de Ni en los controles con plantas ( <i>L. minor</i> y <i>E. crassipes</i> sin contaminantes) estuvo por debajo del límite de detección (<0.2 mg l <sup>-1</sup> ).	[16]

			Energía Atómica -; límite de detección para Ni: 0,2 mg/l-1		
Aplicación de la técnica fotoacústica resuelta en tiempo al monitoreo de la fotosíntesis en plantas de <i>lirio acuático</i> .	<i>In vitro</i>	Logroño; España (2008)	Acuario-invernadero para simular y controlar las condiciones en las que sobrevive el lirio en su hábitat y celdas foto acústicas, para radiación modulada a través de la ventana de cuarzo	fuentes de luz blanca continua de fondo suministrada por una lámpara halógena (30 mW/cm <sup>2</sup> ) y una iluminación monocromática a 633 nm (12.2 mW/cm <sup>2</sup> ) a una frecuencia de modulación fija durante la medición	[17]
Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación	<i>In situ</i>	México (2019)	* Identificación de metales y metaloides * principales sitios contaminados con metales pesados en México * Implementar la fitorremediación	Se encontró una variedad de plantas que son muy eficientes en el proceso de absorción de metales como: <i>Prosopis la evigata</i> , <i>Scirpus americanus</i> , <i>Eichhornia crassipes</i> etc.	[18]
Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros	<i>In situ</i>	Serranía; Perú (2015)	Se evaluó el desarrollo de las especies plantadas en relave minero durante 27 semanas y se hizo un análisis fisicoquímico al relave para determinar el pH y la concentración de elementos químicos	Luego del análisis fisicoquímico practicado a la muestra TOR2, se constató la elevada concentración de metales pesados y metaloides contenidos en el relave. Cobre (Cu) 5460.5, Plomo (Pb) 2933.5, Antimonio (Sb) 298.1, etc.	[19]
“Diseño y construcción de 2 biofiltros con <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemna minor</i> para la evaluación de la degradación de contaminantes en aguas residuales de la extractora río manso exa s.a. “planta la comuna”, Quinindé”	<i>in vitro</i>	Riobamba ; Ecuador (2016)	Se realizó la caracterización inicial física, química y microbiológica del agua, se realizaron análisis en cada semana de tratamiento para determinar las concentraciones y porcentajes de remoción en ambos tratamientos para los diferentes parámetros	Para ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) durante las cuatro semanas de tratamiento se obtuvo una variación progresiva en cuanto al porcentaje de degradación en la primera semana se alcanzó un porcentaje de 23,96% y de 50,56%, 79,9% y 89,24% respectivamente en las siguientes semanas de tratamiento.	[20]
Evaluación biotóxica de Daphnias utilizando	<i>In vitro</i>	Lima; Perú (2016)	Los ensayos biotóxicos fueron aplicados para dos casos en	Según la Tabla N° 2, se observa que la concentración letal	[21]

Contaminantes provenientes de la actividad minera			particular, en ambos se obtuvo la concentración letal media (CL50) para daphnias en pruebas cortas (96 h), utilizando para su determinación la curva de análisis Probit	Media (CL50) es 4 µg/L, debido a que murieron exactamente 5 Daphnias a las 96 h de ensayo.	
Modelo de biorremediación de plomo con lirio acuático.	<i>In vitro</i>	Puebla; México (2019)	Para el análisis de las muestras, se utilizó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (EAA).	El agua de la laguna tuvo concentración de 0.025 mg/L, en control de 3.14 mg/L de plomo, teniendo una remoción final del 13.05 % en el agua en las muestras de bioacumulación.	[22]
Efecto del Jacinto de agua ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) en la depuración del agua residual del colector Santa Lucía- Chachapoyas	<i>In vitro</i>	Chachapoyas; Perú (2019)	Se evaluó durante ocho semanas, considerándose tres tratamientos MA -1, MB - 2 y MC - 3.	Los resultados encontrados para el tratamiento MA - 1: DQO en 59,58% y DBO en 63,18%, para MB - 2: la DQO en 39,51% y DBO en 46,05% y para MC - 3: la DQO 40,70% y DBO en 49,47%. Las correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos, tamaño y la longitud de las plantas son negativas pero significantes.	[23]

Cuadro 2. Estudios nacionales con *Eichhornia crassipes*

Tema o título	In vitro o In situ	Lugar de estudio	Método	Resultados	Ref.
Estudios preliminares de la biomasa seca de <i>Eichhornia crassipes</i> como adsorbente de plomo y cromo en aguas.	<i>In vitro</i>	Antioquia; Colombia (2013)	los tallos enteros, por microscopía óptica (Advanced 40x) y al material triturado, por microscopía electrónica de barrido SEM, usando un equipo marca JEOL JSM 6490, previa aspersión del material seco	La concentración en Pb (1.190), Cr (0.116). Límite de detección (ppm). (0,015) (0,003) Límite máx. Permisible en agua potable (ppm). (0,01) (0,05).	[24]

Diseño, desarrollo y evaluación de un sistema de fitorremediación a escala de laboratorio utilizando <b><i>Eichhornia crassipes</i></b> para el tratamiento de aguas contaminadas con cromo.	<i>In vitro</i>	Bogotá; Colombia (2016)	Se midió el cromo hexavalente a través de la técnica de espectrofotometría bajo las normas del estándar métodos (1995) en el laboratorio de Hidro análisis S.A.S certificado por el IDEAM	Se vieron reflejadas las concentraciones de alrededor de 4200 (mg de cromo / muestra) encontrados en la estructura vegetativa de los tres tratamientos	[25]
Evaluación de un humedal artificial con Jacinto de agua ( <b><i>Eichhornia crassipes</i></b> ) para el tratamiento de efluentes piscícolas.	<i>In situ</i>	Colombia (2013)	Tiempo de retención hidráulica en cinco fases de evaluación en condiciones reales de producción	Eficiencias de eliminación de: NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (67,9%), BOD <sub>5</sub> (32,1%), NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (27,1%), TP (23,0%) y NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (16,7%). La velocidad de eliminación se correlacionó positivamente con la velocidad	[26]
Los análisis fisiológicos y proteínicos revelan el mecanismo de tolerancia de <b><i>Eichhornia crassipes</i></b> al estrés por cadmio de alta concentración en comparación con <b><i>Pistia stratiotes</i></b>	<i>In situ</i>	Colombia (2015)	Análisis fisiológicos y bioquímicos para comparar la resistencia de estas dos especies al estrés de Cd a 100 mg / l.	<i>E. Crassipes</i> podría mantener parámetros fisiológicos estables se descubrió que muchas sustancias y proteínas de resistencia al estrés, como las proteínas de prolina y de choque térmico (HSP) y modificaciones postraduccionales	[27]
Determinación del potencial de absorción de cobre en solución acuosa de las especies <b><i>Pistia stratiotes</i></b> y <b><i>Eichhornia crassipes</i></b>	<i>In vitro</i>	Amazonia ; Colombia (2015)	Las especies aclimatadas de <b><i>Eichhornia crassipes</i></b> y <b><i>Pistia stratiotes</i></b> , en cubas de vidrio de 14.45 L, se prepararon volúmenes de 10L de soluciones de cobre a 10, 30, 60 y 90 mg de Cu <sup>2+</sup> /L.	La tasa de crecimiento se vio afectada después de la concentración de 10 mg/L de cobre, en ambas especies, así mismo se determinó alta capacidad de absorción de cobre las dos especies, siendo 98.87 % y 98.34% para <i>Pistia stratiotes</i> y <b><i>Eichhornia crassipes</i></b> respectivamente.	[28]
Evaluación de la cinética de la acumulación de cromo en el buchón de agua ( <b><i>Eichhornia crassipes</i></b> )	<i>In vitro</i>	Buga; Valle del cauca (2011)	Se prepararon tres soluciones de cromo a concentraciones 30, 60, 90 mg/L, luego de 360 horas se separó la planta en hoja, raíz y tallo y se determinó el peso húmedo de cada tejido, luego se secaron y se midió peso seco.	Los resultados de relación de acumulación de metal con respecto a las concentraciones iniciales mostraron que a mayor concentración de metal en el medio hay mayor acumulación en los tejidos	[29]



Diseño y evaluación de un Biosistemas de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la <b><i>Eichhornia crassipes</i></b>	<i>In vitro</i>	Bogotá; Colombia (2016)	Se montaron siete diferentes sistemas de tratamiento, 3 con un 40% de agua de curtiembres llamadas 4a, 4b y 4c y 3 con un 60 % de aguas de curtiembres llamadas 6a, 6b y 6c. El restante se complementó con agua destilada	Se puede observar que al 3 día se obtuvieron remociones de más del 30%, estabilizándose los días siguientes. Al final obtuvo unas remociones del 58%.	[30]
Adsorción de plomo (ii) en solución acuosa con tallos y hojas de <b><i>Eichhornia crassipes</i></b> .	<i>In vitro</i>	La guajira; Colombia (2011)	Los tallos y las hojas, se cortaron en fracciones de 1cm de longitud, aprox. y se secaron a 60°C, realizando un sistema batch, con un equipo de prueba de jarras, con soluciones de concentración inicial de 30,951ppm de Pb+2.	La biomasa TEC reportó una mayor capacidad de adsorción de Pb en todos los casos analizados, alcanzando su tasa máxima al modificarla con CaCl <sub>2</sub> , mientras que el NaOH mejoró ligeramente eficiencia de remoción de las HEC.	[31]
Valoración de la calidad del agua de tres ciénagas del departamento de cesar mediante macro invertebrados asociados a <b><i>E. Crassipes</i></b> (pontederiácea).	<i>In situ</i>	Cesar; Colombia (2014)	En cada estación de muestreo se midieron conductividad eléctrica, dureza total, alcalinidad total, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos totales y temperatura.	En las tres ciénagas se registraron 69397 individuos (total sin considerar el área de muestreo) pertenecientes a 34 familias y 87 taxones asociados a las raíces de la macrófita acuática <i>Eichhornia crassipes</i> .	[32]
Tratamiento de los residuos líquidos del área de tinturados en flores de exportación con <b><i>Eichhornia Crassipes</i></b> (Buchón de Agua)	<i>In vitro</i>	Antioquia; Colombia	Se preparó la solución para la tintura de las flores con 20 gramos del colorante en polvo por cada litro de agua. Luego introdujeron en cada tanque la misma cantidad de plantas de Buchón de Agua ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) que pesaron 450 gramos.	37*104 UN Pt-Co. El porcentaje de remoción de color fue respectivamente del 58.1%, 68.3% y 71.7%- Los resultados obtenidos muestran que el buchón tiene un alto contenido de agua, característica positiva para el tratamiento posterior del material vegetal generado durante el tratamiento.	[33]
Evaluación in vitro de la taruya ( <b><i>Eichhornia crassipes</i></b> ) como	<i>In vitro</i>	Cartagen a; Colombia (2017)	Se utilizaron 10 recipientes de vidrio de 30 cm de alto, 30 cm de ancho y 20 cm de profundidad, con un volumen	Según los resultados de esta investigación los tratamientos son altamente significativos, y nos muestran que los datos no están tan dispersos por lo que se acepta	[34]

agente biorremediador en aguas contaminadas con cromo			de agua potable de 7 litros cada uno, más un litro con la disolución de Cromo.	la hipótesis nula (Ho), es decir, que existe una diferencia entre los tratamientos y por consiguiente si hay absorción de cromo.	
Fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera	<i>In situ</i>	Antioquia; Colombia (2016)	Para determinar el grado del impacto ambiental producido por la actividad minera se compararon los valores obtenidos para la muestra patrón con la muestra problema.	Los valores obtenidos para la desviación estándar y el coeficiente de variación en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los dos muestreos tanto en la muestra patrón como en el problema, fueron $S < 3.5$ y $CV < 5.5\%$ , respectivamente	[35]
Manejo de macrófita acuáticas en la acumulación y transformación de cianuro producto del beneficio del oro en la mina la coqueta	<i>In vitro</i>	Manizales ; Colombia (2016)	Se realizaron pruebas cualitativas de compuestos nitrogenados en las plantas y bioensayos con <i>Daphnias pulex</i> en las plantas y en el agua tratada.	En las plantas expuestas al tratamiento, se evidenció cambio de color de amarillo a rojo ladrillo en el papel indicador picrato de sodio, en muestras de raíces y hojas de las tres especies ( <i>E. crassipes</i> , <i>P. stratiotes</i> y <i>S. aurícula</i> ), indicando la posible presencia de glucósidos cianogénicos y las respectivas enzimas hidrolíticas	[36]
Primer Congreso y Reunión fundacional de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC) de los Países Andinos.	<i>In vitro</i>	Medellín; Colombia (2014)	Se aplicó el método del ácido pícrico para determinación cualitativa de cianuro en el agua, con resultados favorables como prueba de campo o en condiciones básicas de laboratorio.	Los suelos que reciben irrigación con aguas contaminadas contienen 3.5 - 78 mg Cd/kg. Los tubérculos de papa mostraron concentraciones elevadas (hasta 1.2 mg/kg) que exceden la norma europea (-0.5 mg/kg)	[37]
Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales de un campus universitario	<i>In vitro</i>	Bogotá; Colombia (2015)	El método de determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) con el espectrofotómetro seleccionando el programa 26 COD (DQO)	En consecuencia, la caracterización de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) no arroja valores confiables acerca de la carga contaminante presente en el agua, y por esta razón se hará la caracterización mediante el método de determinación de la demanda química de oxígeno (DQO).	[38]

Análisis de la capacidad de depuración de <b><i>Eichhornia crassipes</i></b> , <i>Crypsogon zizanioides</i> y <i>Typha latifolia</i> , respecto a parámetros fisicoquímicos de lixiviados del relleno sanitario el guayabal utilizando humedales artificiales	<i>In vitro</i>	Cúcuta; Colombia (2016)	Se realizó un análisis fisicoquímico, microbiológico y de metales pesados al mismo, para poder determinar al final del periodo de evaluación la cantidad de contaminante removido	Las especies vegetales presentaron comportamientos diferentes en la adaptación a la mezcla de lixiviado; <i>Eichhornia crassipes</i> requiere de un proceso de adaptación de mayor tiempo debido a que tarda más en asimilar la carga contaminante	[39]
Estado del arte, del uso de la en la fitorremediación de aguas residuales industriales		Neiva; Colombia (2018)	Se realizaron los cálculos de los coeficientes de translocación y de bioacumulación.	La literatura investigada, muestra que sin lugar a duda la macrófita Jacinto de agua presenta un fuerte potencial en recuperación de sistemas acuáticos contaminados por fuentes industriales.	[40]
Fitorremediación de aguas contaminadas con componentes de amalgama de la preclínica de odontología de la Universidad Antonio Nariño, Ibagué (Colombia)	<i>In vitro</i>	Ibagué; Colombia (2019)	Mediante espectrofotometría de absorción atómica, se determinó la concentración de metales pesados en miligramos por litro.	El porcentaje de remoción de componentes de amalgama fue superior al 50%. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $\alpha= 0.05$ ; $g\ I= 11$ ; $p= 0,4269$ )	[41]
Evaluar el efecto del proceso de fitorremediación con <b><i>Eichhornia Crassipes</i></b> en un agua cianurada mediante cromatografía de gases.	<i>In vitro</i>	Manizales ; Colombia (2020)	El método de extracción utilizado es el micro extracción en fase sólida (SPME).	El proceso de la fitorremediación con <i>Eichhornia Crassipes</i> obtuvo un porcentaje de remoción de 95,23% ya que el agua antes de, presentaba 237 compuestos volátiles y después de haber pasado por dicho proceso se hallaron 99 volátiles.	[42]
<b><i>Eichhornia Crassipes</i></b> (mart) Solms: un sistema integral de fitorremediación y bioenergía	<i>In vitro</i>	Bogotá; Colombia (2019)	El contenido de azúcares reductores se determina con el método del ácido dinitro salicílico (DNS) (Peña & Arango, 2009) que cuantifica el consumo de sustrato de forma indirecta	En la fitorremediación, la planta acuática <i>E. crassipes</i> es un agente importante que adsorbe metales pesados y nutrientes, debido al contenido alto de celulosa en su biomasa	[43]

Evaluación de la capacidad de remoción de cromo de <b><i>Eichhornia Crassipes</i></b> y <i>Azolla</i> sp. con miras a su aplicación como tratamiento complementario de aguas residuales de la industria galvanotécnica	<i>In vitro</i>	Bogotá; Colombia (2019)	Se realizó la determinación de concentraciones de cromo mediante el método espectrofotométrico por colorimetría propuesto por Standard Métodos.	La mayor cantidad de remoción de cromo se logró durante los primeros tres días para ambas especies, con porcentajes mayores al 50% durante este periodo, y alcanzando el 80% por parte de <i>Eichhornia crassipes</i> , y el 63% por parte de <i>Azolla</i> sp. Tras los diez días.	[44]
--	-----------------	-------------------------	---	---	------

Cuadro 3. Estudios locales con *Eichhornia crassipes*

Tema o título	In vitro o In situ	Lugar de estudio	Método	Resultados	Ref.
Fito depuración de aguas residuales domésticas con poáceas: <b><i>Brachiaria mutica</i>, <i>pennisetum purpureum</i> y <i>panicum máximum</i></b> en el municipio de Popayán, Cauca.	<i>In situ</i>	Popayán; Colombia (2013)	El análisis estadístico, se realizó por medio de una ANOVA (Análisis estadísticos de Varianza), comparando los tratamientos expuestos y una Prueba posthoc de Tuckey.	Los porcentajes de remoción para coliformes totales fueron para la especie <i>B. mutica</i> 74, 36%, <i>P. purpureum</i> con 74, 35% y <i>P. máximum</i> con 72, 27 %; valores similares a los obtenidos en investigaciones con <i>Arundodonax</i> (Poaceae) que registró 76 %.	[45]

Fuente: propia

## 2.3. MARCO NORMATIVO

La constitución política de Colombia, en el artículo 79 estipula que todas las personas tienen derecho a un ambiente sano, de acuerdo a lo anterior existen leyes que garantizan la seguridad a la humanidad desde el ámbito ambiental, social y económico. La Resolución 631 de 2015 la cual en su artículo 10 establece los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (ARND) a cuerpos de aguas superficiales de actividades de minería, para la extracción de oro y otros metales preciosos, la norma establece que el valor máximo permisible de mercurio (Hg) en cuerpos de agua superficial debe ser de 0,002 mg/L. A continuación, en el cuadro 4, diferentes normas con respecto al uso racional y eficiente del agua, además, del uso y comercialización de metales pesados en el desarrollo de actividades como la minería, teniendo en cuenta que todo vertimiento sea puntual o móvil debe cumplir con los límites máximos permisibles para las distintas sustancias.

Cuadro 4. Marco legal del uso racional y eficiente del agua y minería

Leyes	Normas	Definición de la norma	Entidad emisora	Referencia
Leyes de minería	Ley 685 de 2001	por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones	El Congreso de Colombia	[46]
	Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.	El Congreso de Colombia	[47]
	Ley 1658 de 2013	Por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones	El Congreso de Colombia	[48]
Decretos	Decreto 2667 de 2012	Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones	El presidente de la república de Colombia	[49]
	Decreto 1073 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto único reglamentario del Sector Administrativo de minas y Energía	El presidente de la república de Colombia	[50]
	Decreto 1640 de 2012	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones	El presidente de la república de Colombia	[51]

Resoluciones	Resolución 1207 de 2014	Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas	La ministra de ambiente y desarrollo sostenible	[52]
	Resolución 631 de 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	Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	[53]
	Resolución 1907 de 2013	Por la cual se expide la guía técnica para la formulación de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas	La ministra de ambiente y desarrollo sostenible	[54]

Fuente: propia

### 3. CAPITULO III: METODOLOGÍA

El bioensayo se realizó en cuatro etapas, primero el establecimiento de concentración de mercurio alta, media y baja, concentraciones a evaluar, seguido de la evaluación de la concentración *in vitro* de Hg en agua residual y *Eichhornia crassipes* expuestas a diluciones de aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería de oro en una curva de tiempo de 0 a 168h y finalmente se presentará cómo se estableció los porcentajes de eficiencia de remoción por parte de las plantas acuáticas.

#### 3.1. Zona de extracción de la muestra de agua

La muestra de agua residual fue extraída de un entable minero, en la cabecera municipal de Suárez al norte del Departamento del Cauca; como se indica en la ilustración 1, su temperatura promedio es de 27°C, su altura de 1050 msnm, con Latitud: 2.95, Longitud: -76.7 2° 57' 0" Norte, 76° 42' 0" Oeste, la extensión territorial es de 389.87 km<sup>2</sup>, de los cuales 3,57 km<sup>2</sup> corresponden al área urbana, limita con el municipio de Buenos Aires al Suroriente, al Sur con el Municipio de Morales y al Occidente con López de Micay [7].

En su entorno se encuentran ríos importantes como Cauca, Ovejas, además de las actividades que se realizan para el desarrollo económico como la agroindustria de la caña de azúcar, la ganadería extensiva, la agricultura, piscicultura y la extracción minera con el uso de mercurio para facilitar la extracción de oro, pero tiene afectaciones en el ambiente y la salud de las personas que realizan esta actividad

[7] [10].

Ilustración 1. Ubicación geográfica del entable minero



Fuente: Adaptado de Google Earth

### 3.2. Establecimiento de concentración de mercurio alta, media y baja de aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería de oro

En el bioensayo se tuvo en cuenta la **variable de tipo dependiente** como la concentración *in vitro* de mercurio (Hg) en agua residual de un entable minero de oro, a partir de la cual se establecieron las concentraciones altas, media, baja, como **variable de tipo independiente** se tuvo en cuenta el tiempo (curva de tiempo de 0h - 168h). La distribución del bioensayo se basó en un **diseño de bloques aleatorizados**, con tres acuarios que constaban de 4 divisiones cada uno, a esto se le distribuyeron de forma equitativa (4 plantas por división), a las cuales se hizo monitoreo a diario para el establecimiento de los tratamientos y la evaluación de las concentraciones alta, media y baja en una curva de tiempo de 0h a 168h. La adaptación y nutrición de las plantas fue en un lapso de 5 días, con 1 kg de lombricompost y 5 litros de agua natural por cada división. Conservando en cada acuario las mismas condiciones (luz, temperatura, sustrato entre otros). También se llevó a cabo un proceso de monitoreo de los parámetros físico químicos [17].

Fotografía 1. Distribución de tratamientos para la evaluación in vitro. A) Bloque 1 B) Bloque 2 C) Bloque 3



Fuente: Propia

Las concentraciones experimentales Alta, Media, Baja y control, se distribuyeron de forma aleatoria en 4 acuarios y la medición de los parámetros fisicoquímicos se realizó de forma simultánea al desarrollo del experimento de fitorremediación, con equipos adecuados y calibrados, para asegurar datos confiables.

La concentración alta, media y baja se definieron a partir de la solución madre del agua residual proveniente de una planta de beneficio de minería de oro como se muestra en la tabla 1, se distribuyeron de forma aleatoria en cada bloque incluyendo el control, con el fin de comparar los efectos biológicos y los porcentajes de remoción observados para cada tratamiento. A continuación, las ecuaciones para definir y calcular las concentraciones altas, media y baja del efluente a evaluar, los de acuerdo al método de diluciones seriadas [55].

Tabla 1. Ecuaciones para definir concentraciones

Concentración	Ecuación	Descripción
Alta	100% SM	Solución madre, sin dilución
Media	100% SM/2	50 % solución madre, 50% agua natural
Baja	100%SM/4	25% solución madre, 75% agua natural



Total	100%
Donde SM = Solución madre	

Fuente: propia

### **3.3. Evaluación de la concentración *in vitro* de Hg en agua residual y *Eichhornia crassipes* expuestas a diluciones de aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería de oro**

La concentración *in vitro* de Hg se determinó en cada dilución de agua residual con sus respectivas réplicas y en las plantas expuestas a estas, al inicio 0h y al final 168h. Las muestras de *Eichhornia crassipes* fueron removidas por cada tratamiento hasta completar la curva de tiempo; se escogieron las plantas más pequeñas por su facilidad de transporte, además se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:

- Buena pigmentación
- Que no presentaran anomalías en cualquiera de sus partes
- Se le retiraron las hojas que presentaban necrosis
- Un buen espesor radicular (raíces, tubérculos, bulbos y rizomas)

Todas las plantas cumplieron un ciclo de 168h expuestas en los diferentes tratamientos, fueron seleccionados tres grupos, cada uno con seis organismos, lo cuales fueron empacados en bolsas ziploc (debidamente rotuladas) y fueron enviadas al laboratorio de “Ingeniería y laboratorios de análisis ambiental”.

En cuanto las concentraciones de Hg en agua, al inicio y final del bioensayo, se tomó por cada tratamiento 2 litros de agua, se enviaron en neveras refrigerantes hasta la ciudad de Pereira al laboratorio de análisis de aguas y alimentos, en el cual hicieron los análisis según el método SM: 3112 – B Absorción atómica vapor frío. Para la evaluación de los parámetros fisicoquímicos, se tomaron muestras de cada acuario cada 24 horas hasta el final de la curva de tiempo 168h; Los parámetros químicos que se consideraron fueron; pH, oxígeno disuelto (OD), turbidez, demanda química oxígeno (DQO) con el espectro UV/bis II machery naguel rango 150, conductividad, nitratos (NO<sub>3</sub> -), fosfatos (PO<sub>4</sub> -3), nitritos (NO<sub>2</sub>), temperatura.

### **3.4. Determinación de los porcentajes de remoción de Hg en agua residual provenientes de una planta de beneficio de minería de oro tratada con *Eichhornia crassipes***

Para la determinación de los porcentajes de remoción se partió de la medición de mercurio en las muestras de agua realizado en el Laboratorio de Análisis de Aguas

y Alimentos de la universidad tecnológica de Pereira (UTP), se utilizó el método de absorción atómica vapor frío (SM: 3112 – B), usando vaporización en un atomizador de dos etapas, uno con límites de detección de 0,24 o 0,024 ug. L-1 para agua potable a un volumen de muestra de 100 UI [56]. Posteriormente, el porcentaje de remoción se calculó teniendo en cuenta, la concentración inicial de mercurio a las 0h y la final a las 168h. De la siguiente manera [38]:

$$\% \text{ de Remocion} = \frac{V_{pi} - V_{pf}}{V_{pi}} * 100$$

Dónde: VPi: Valor Parámetro Inicial VPf: Valor Parámetro final

### 3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se diseñaron cuadros maestros para el registro de los parámetros fisicoquímicos, observaciones de toxicidad y concentración de Hg. Luego los datos transfirieron al paquete estadístico SPSS 2.4 (Paquete Estadístico para Científico Social), para el análisis estadístico referencial y descriptivo, aplicando pruebas de normalidad, independencia y homogeneidad de varianza, ANOVA de una vía, así como la prueba chi-cuadrado con el programa estadístico BioEstat 5.0.

#### 4. CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos, al igual que la metodología aplicada, están referidos a tres etapas antes mencionadas: 1. Establecimiento de tratamientos alto, medio y bajo de aguas residuales mineras, para lo cual se tuvo en cuenta también la medición de parámetros fisicoquímicos en la estandarización en condiciones de laboratorio; 2: Evaluación de la concentración *in vitro* de Hg en agua residual y *Eichhornia crassipes*, caracterización físico química de los tratamientos alto, medio y bajo del agua residual proveniente de actividad minera, comportamiento de *Eichhornia crassipes* durante la exposición a aguas residuales provenientes de minería de oro de 0h a 168h; 3. Determinación de los porcentajes de remoción de Hg en agua residual tratada con *Eichhornia crassipes* durante 0h, y 168h.

##### 4.1. Establecimiento de concentraciones altas, media y baja de aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería oro.

Antes de establecer las concentraciones altas, media y baja se utilizó un protocolo de adaptación de *Eichhornia crassipes* en un lapso de tiempo de 5 días en condiciones *in vitro* en el laboratorio, con agua natural colectada de un pozo ubicado en el barrio Campo bello rural en Popayán, de la misma manera, la especie fue colectada en la quebrada ubicada en el barrio nuevo Japón (Popayán – Cauca), colocando 4 plantas de igual tamaño, longitud y peso, al igual que 5 litros de agua por cada compartimiento de los acuarios, quedando en total 16 plantas por bloque, como se observa en la fotografía 2, en los cuáles se adicionó 100 gramos de lombricompost previamente estandarizado facilitando la adaptación de la especie [58].

Fotografía 2. A) Recolección de plantas, B) Recolección Agua Natural de aljibe, C) Monitoreo de parámetros fisicoquímicos





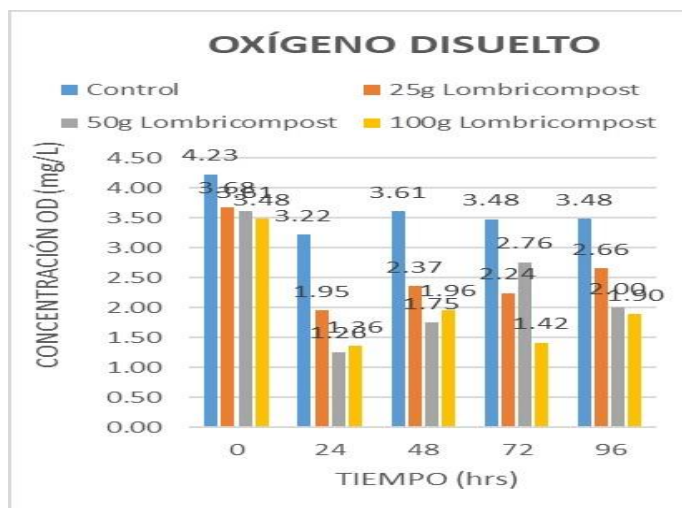
Fuente: Propia

El proceso de adaptación de la planta en condiciones de laboratorio se hizo de manera exitosa, lo cual se corrobora con estudios de fitorremediación reportados en los últimos años con *Eichhornia crassipes*, en ellos se describe la planta como un organismo de fácil adaptación, manipulación y puede ser usada en fitorremediación de aguas contaminadas con metales pesados, siendo evaluada en efluentes mineros, aguas de curtiembres, aguas contaminadas con cromo, constituyéndose muy buena alternativa, por su alta capacidad de adaptación y remoción de contaminantes del agua [19] [25][30].

#### **4.1.1. Parámetros fisicoquímicos durante la estandarización en condiciones de laboratorio**

En la figura 1, podemos observar que el control es el que mayor OD presenta, a las 0h con un valor de 4,23 mg/L y a las 168h disminuye a 3,48 mg/L, debido, a que no tienen microorganismos ni materia orgánica. A diferencia de las particiones que poseen nutriente, como la de 100 gramos de lombricompost al inicio 3,22 mg/L OD y al final 1,90 mg/L OD, demostrando que a mayor cantidad de lombricompost menor oxígeno disuelto.

Figura 1. Comportamiento del OD



Fuente: Propia

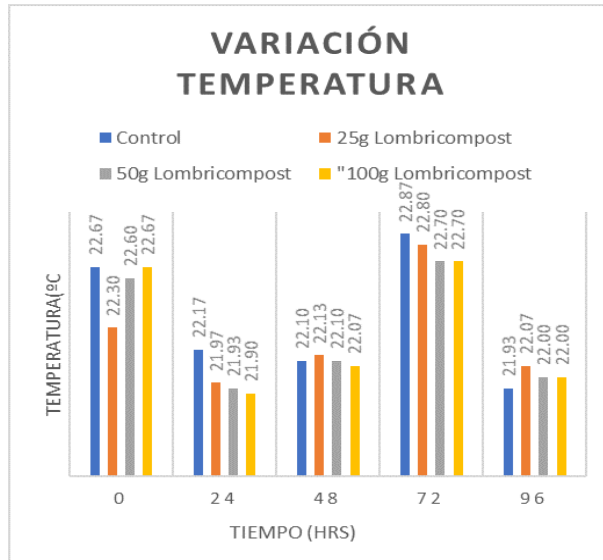
Tabla 2. Rangos de concentración de oxígeno disuelto

[OD] mg/L	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios.
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles.
5-8	Aceptable	[OD] adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.
8-12	Buena	
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética.

Fuente: Guía de Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto obtenido fue bajo en un rango de 1 a 5 como se observa en la figura 1, indica hipoxia, es decir disminución del oxígeno disponible, ocasionando desaparición de organismos y especies sensibles como lo indica la tabla 2, lo anterior afecta la planta con una severa crisis energética al disminuir o limitar la eficiencia de las rutas aeróbicas de síntesis de ATP (ciclo de los ácidos tricarbónicos y cadena de transporte de electrones) [57].

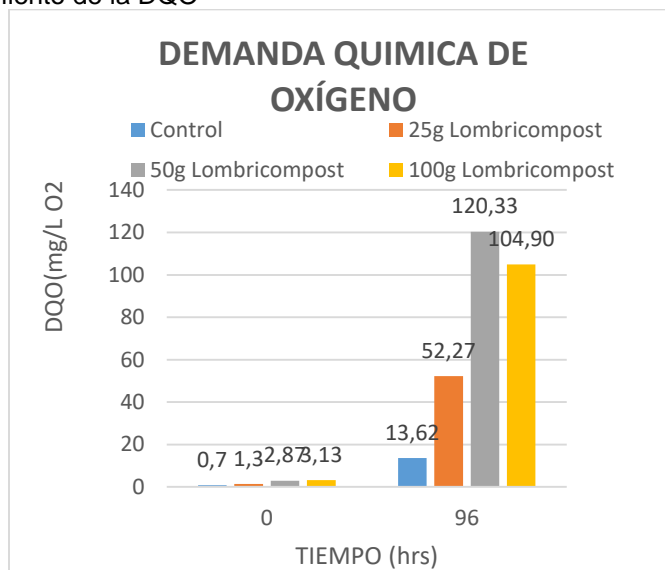
Figura 2. Variación de la temperatura



Fuente: Propia

La Temperatura se mantuvo en un promedio de 21°C a 23°C, como se puede observar en la figura 2, se encuentra dentro del rango para el crecimiento de la planta y favorable para el control de actividades biológicas ya que el incremento de los procesos metabólicos de los microorganismos incide en la disminución de oxígeno [20].

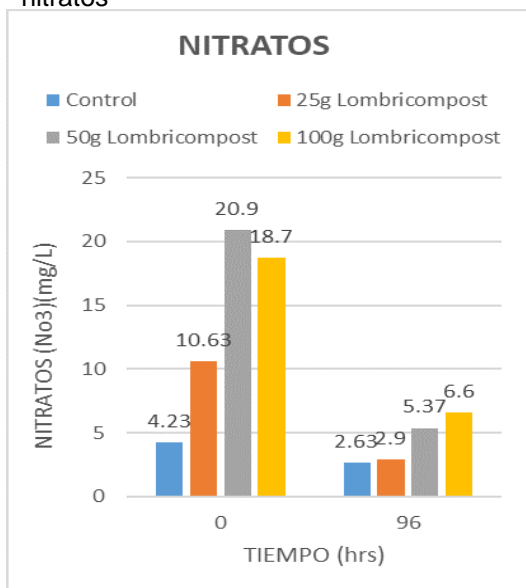
Figura 3. Comportamiento de la DQO



Fuente: Propia

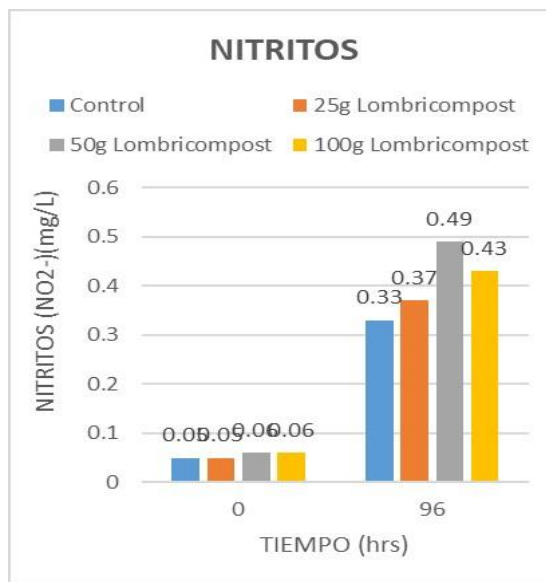
Como se observa en la figura 3, la DQO es menor en el control a las 0h, porque el consumo de oxígeno por oxidación química es lo normal. Al pasar de 0 a 96 horas, los valores obtenidos obedecen a los procesos de oxidación biológica y química presentes en el agua; por procesos naturales y descomposición de materia orgánica razón por la cual, al aumentar la concentración de lombricompost los procesos de DQO tienden a aumentar a pesar de estar dentro de los límites por concentraciones normales [20].

Figura 5. Comportamiento de los nitratos



Fuente: Propia

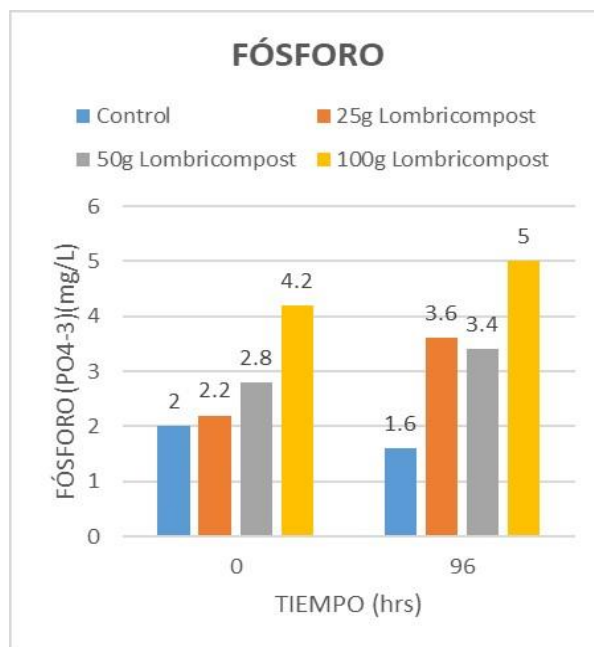
Figura 4. Comportamiento de los nitritos



Fuente: Propia

Los nitritos y nitratos en la figura 4 y 5, presentaron un comportamiento significativo, ya que los nutrientes tienden a disminuir con el paso de las 0 a las 96 horas por los procesos de oxidación, esto se debe a que posiblemente en el agua ya no hay compuestos nitrogenados porque han sido consumidos en el proceso de alimentación de las plantas y microorganismos, lo que se relaciona directamente con la buena adaptación de la planta [39].

Figura 6. Comportamiento del fósforo



Fuente: Propia

El fósforo en la figura 6, se midió a las 0 y 96 horas, presento un aumento muy significativo debido a que al inicio su promedio fue de 2.8 mg/L y al final de 3.4 mg/L, lo cual explica que cuando se tiene un ecosistema lentic donde se encuentran macrófita se presenta una liberación de nutrientes donde la planta consume solo lo necesario y liberan nutrientes como el fosforo, y debido a los procesos metabólicos los organismos presentes liberan fosforo lo que explica el aumento del mismo [20].

#### 4.1.2. Concentraciones altas, media baja de aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería de oro.

Teniendo en cuenta los resultados preliminares de estandarización de *Eichhornia crassipes* en condiciones *in vitro*, las plantas fueron expuestas a agua residual de entable minero, se estableció como la concentración inicial 0,63mg/L de mercurio, encontrada en la solución madre de efluente de actividad minera de oro de un entable minero de Suárez-Cauca, a partir de esta solución se establecieron las diluciones seriadas de  $\frac{1}{2}$  para concentración media y baja respectivamente como se muestra en la tabla 3, a partir de la solución madre o inicial la cual fue considerada como la concentración alta, quedando establecidas de la siguiente manera:



Tabla 3. Concentraciones altas, media baja de agua residual

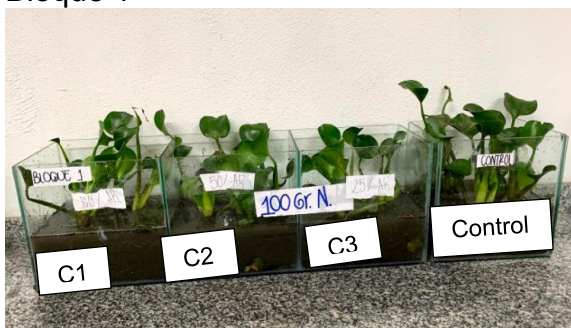
Concentración	Ecuaciones	Resultados
Alta	100% SM	0,63mg/L SM
Media	100% SM/2	0,32 mg/L SM
Baja	100% SM/4	0,16 mg/L SM

Fuente: propia

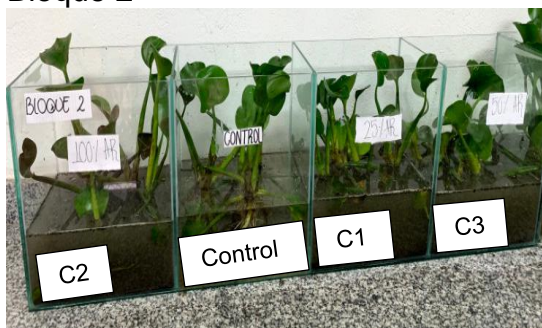
En la fotografía, se puede apreciar la distribución completa del experimento, al igual que las plantas acuáticas expuestas a las tres concentraciones de aguas residuales de una planta de beneficio de minería de oro y el control (Agua natural), según el diseño experimental.

Fotografía 3. Diseño del montaje establecido en el laboratorio (3 concentraciones y control negativo)

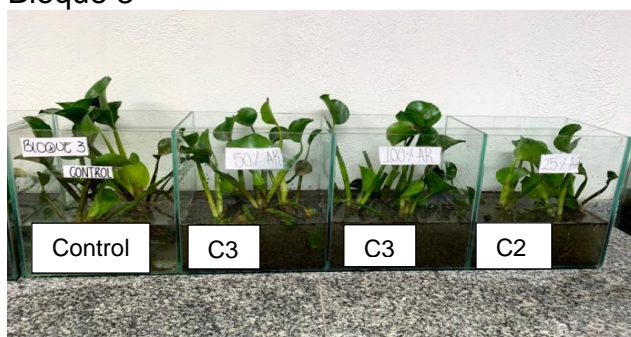
Bloque 1



Bloque 2



Bloque 3



Fuente: propia

La fase de adaptación de las plantas se realizó con agua natural por 96 horas, con monitoreo constante, al finalizar se descargó el agua, se recargaron los acuarios con el agua residual, buscando una distribución aleatoria de tratamientos por cada

bloque, se adiciono 100g de lombricompost a cada acuario previamente establecido.

Durante la fase de adaptación y exposición agua residual, no se presentaron cambios, no murió ningún organismo, por el contrario, se observó crecimiento en raíz, tallos más fuerte y hojas con mayor clorofila, garantizando la viabilidad de la planta acuática durante el tiempo de todo el ensayo. Este resultado es muy similar al obtenido en el estudio “Aplicación de la técnica foto acústica resuelta en tiempo al monitoreo de la fotosíntesis en plantas de lirio acuático (*Eichhornia Crassipes*)”, en el cual, señalan que la planta mostró un desarrollo fisiológico favorable, sin presentar necrosis de ningún tipo y se mantuvo estables en el laboratorio, en el interior de un acuario-invernadero.

Además, se presentaron nuevos brotes de estolones y el desarrollo de más pecíolos [15] [17], y en el estudio “Determinación del potencial de absorción de cobre en solución acuosa de las especies *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*” Barreto y Paredes, 2016. Quienes manifiestan la fácil adaptación y rápido crecimiento de la planta, que se reproduce principalmente por estolones que forman nuevas plántulas además, del aumento de peso de la planta, así como producción de hojas nuevas y gruesas de color verde [28]. Lo cual garantiza el bienestar de la planta acuática durante todo el bioensayo en condiciones in vitro.

#### 4.2. Evaluación de la concentración *in vitro* de Hg en agua residual y *Eichhornia crassipes*

En la tabla 4, se indican los valores obtenidos de los análisis fisicoquímicos, que se encuentran en un tiempo de análisis desde la hora 0 cada 24h hasta las 168h. La conductividad en la concentración alta presento valores más altos de 1,7 mS y en la media de 1,1 mS a la hora 144, la temperatura no tuvo cambio significativo, pero la turbidez en la concentración alta a las 72h presento un valor de 1980 (NTU), de la misma manera el pH presento un cambio significativo en la concentración alta a las 72h de exposición, alcanzando un valor máximo de 7,97, el oxígeno disuelto aumento con el paso del tiempo, ya que inicio con un valor de 5,29 mg/L en el control y a las 168h presento uno de 6,89 mg/L en el mismo.

Tabla 4. Caracterización de los parámetros físico químicos promedio evaluados cada 24 horas

Tiempo (hrs)	Tratamiento	Conductividad (ms)	Temperatura °c	Turbidez (NTU)	pH	OD (mg/L)
0	Alta	1,2	20,8	744	6,21	2,28
	Media	1,1	20,9	698	6,44	3,4

24	Baja	0,8	20,5	414	6,48	4,29
	Control	0	20,2	11,4	6,58	5,29
	Alta	1,5	19,3	1278	6,49	2,94
48	Media	1	20,1	757	6,71	3,91
	Baja	0,9	19,7	408	6,90	4,2
	Control	0	19,4	33,9	7,25	5,35
72	Alta	0,06	21	1442	7,74	4,15
	Media	0,02	21	564	7,84	4,55
	Baja	0,3	21	551	7,82	5,05
96	Control	0	21	35,4	7,59	6,61
	Alta	0,01	20,1	1980	7,97	5,92
	Media	0,08	20,1	547	7,93	4,40
120	Baja	01,1	20,1	418	7,82	6,20
	Control	0	20	35	7,25	5,82
	Alta	0,7	21,5	439	7,91	4,88
144	Media	0,1	21,8	391	7,85	4,85
	Baja	0,2	21,6	124	7,87	5,45
	Control	0,5	21,3	56,9	7,16	6,89
168	Alta	01,4	21	1512	6,68	4,88
	Media	0,1	21	1442	6,86	5,37
	Baja	0,8	20,7	452	6,98	5,32
144	Control	0	20,7	109	6,95	6,29
	Alta	1,7	21,5	632	6,61	5,28
	Media	1,1	20,5	724	7,01	5,44
168	Baja	1	20,6	339	7,17	5,26
	Control	0,1	20,5	46,2	7,36	6,55
	Alta	0,7	21,5	493	7,91	4,88
168	Media	0,1	21,8	391	7,85	4,85
	Baja	0,2	21,6	124	7,87	5,45
	Control	0,5	21,3	56,9	7,16	6,89

Fuente: propia

De acuerdo a la tabla 4, Los altos valores obtenidos de turbidez son normales, directamente proporcional al tiempo y las concentraciones. El pH, en la concentración alta presento valores de 7,97 alta a las 72h, permaneciendo en el rango óptimo de 6 a 8 para la buena supervivencia de la especie [13], así mismo el oxígeno disuelto en la concentración baja a las 0 horas obtuvo un valor de 4,29 mg/L y en el control de 5,29 mg/L, a las 168h aumento significativamente en la concentración baja 5,45 mg/L y en el control 6,89 mg/L. De acuerdo a la tabla 2, se mantuvo dentro de un rango aceptable, adecuado para la vida de la gran mayoría de especies y otros organismos acuáticos [57].

- **Conductividad**

La conductividad presentó valores a las 144h de 1.7 mS y 1.1 mS en las concentraciones altas y media, lo cual se debe a la acumulación de nutrientes presentes en el sistema. Al igual que en el estudio de Fitorremediación de mercurio

presente en aguas residuales provenientes de la industria minera” en 2016, los resultados obtenidos fueron altos, pero estaban en el rango sugerido para la buena adaptación de la planta [35]. Los valores que se obtuvieron durante la caracterización físico química de las concentraciones alta, media y baja del agua residual proveniente de actividad minera, fueron de gran aporte para la adaptación y supervivencia de la especie *Eichhornia crassipes* ya que, gran parte de ellos se encontraron en el rango óptimo que necesita la planta para permanecer viva el mayor tiempo posible.

- **Mercurio**

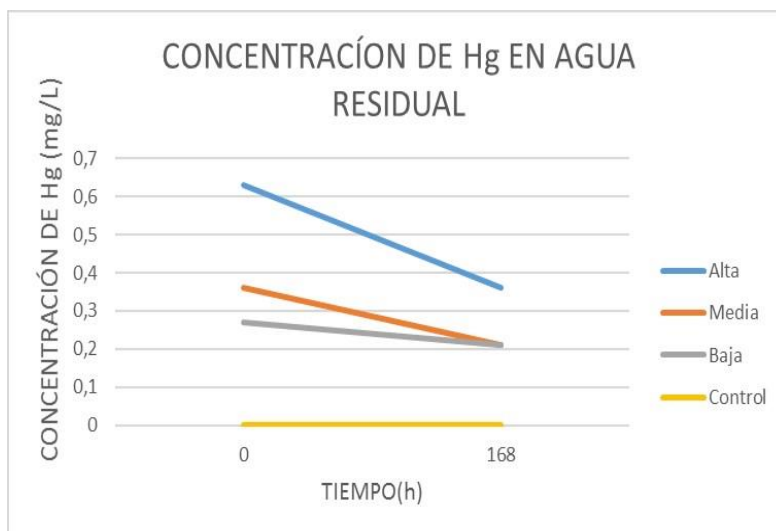
Tanto en la tabla 5, como figura 7, se pueden evidenciar altas cantidades de mercurio en las tres concentraciones a las 0 horas, la cual presenta una reducción significativa hasta llegar a una concentración baja a las 168h hora final, pero a su vez sobrepasa el valor máximo permisible establecido por la resolución 0631 del 17 de marzo de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia en el artículo 10 la cual es de (0,002 mg/L). La concentración del mercurio inversamente proporcional al tiempo (0,63 mg/L en 0h a 0.22 mg/L a las 168 horas).

Tabla 5. Valores promedio de los parámetros físico químicos

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Mercurio (mg/L)</b>	<b>Fósforo Total (mg P/L)</b>	<b>Nitrogeno total (mg N- NH<sub>3</sub>/ L)</b>
<b>0</b>	Alta	0,63	0,35	2,92
	Media	0,36	0,51	4,66
	Baja	0,27	0,37	3,63
	Control	0	0	0
<b>168</b>	Alta	0,36	3	4,68
	Media	0,21	1,56	4,32
	Baja	0,21	2,78	5,85
	Control	0	0	0

Fuente: propia

Figura 7. Concentración de Hg en agua residual de actividad minera artesanal Vs tiempo

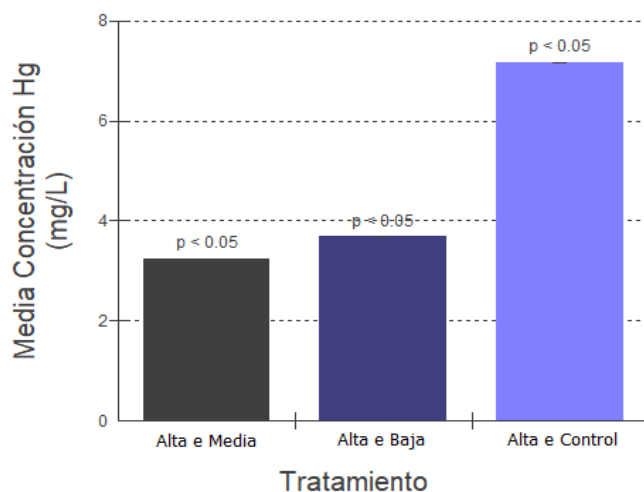


Fuente: propia

De acuerdo al anterior resultado y al anexo A, se observa que el mercurio contenido en el agua residual de la concentración alta a las 0h es de 0,63mg/L, pero a las 168h disminuye quedando en 0,36 mg/L, si el experimento se extendiera a una mayor cantidad de horas, es posible que la concentración de mercurio tienda a disminuir hasta cumplir con lo estipulado en la norma, dado que el tiempo es un factor muy importante para la degradación de metales pesados como el mercurio, así lo argumenta Quispe, 2017. En su estudio el cual la planta fue expuesta a un periodo de tiempo mayor a tres semanas, donde se alcanzó un rango de 50% a 90% en la eliminación de metales pesados como el mercurio [59].

En la Figura 8, se evidencia la diferencia significativa  $p < 0.05$  entre el tratamiento concentración alta (0,63 mg/L), concentración media (0,36 mg/L), baja (0,27 mg/L) y control, especialmente entre la concentración alta y el grupo control con un  $p = 0.0023$ , se corrobora de ésta manera la diferencia marcada entre el grupo control y las concentraciones experimentales de Hg en las muestras de agua residual proveniente de actividad minera artesanal de oro.

Figura 8. Diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre medias de los tratamientos Hg y Control



La diferencia es significativa entre las medias de los tratamientos y control con  $p < 0.05$ , permiten evidencias estadísticas con el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) se han reportado varios estudios donde se evalúan efluentes piscícolas [26], curtiembres [30], minero [35], aguas residuales domesticas [45], han demostrado la alta eficiencia de la especie para ser usada en diferentes sistemas, además, de la significancia debido a, los altos porcentajes de remoción con respecto al tiempo de exposición.

La contaminación por metales pesados es un problema que aumenta cada día, debido a diferentes actividades antrópica, como la minería que utiliza diferentes metales para su desarrollo. Una alternativa para contribuir a la solución de este problema, el uso de especies vegetales para la remoción de metales pesados del suelo o “fitorremediación” [18]. Con *Eichhornia crassipes* se ha evaluado la fitorremediación, corroborando el potencial de la planta al tratar aguas contaminadas con niveles apreciables de mercurio [34]. Lo cual podría tenerse en cuenta en Colombia, en zonas de alta actividad minera cómo lo es el municipio de Suárez en el departamento del Cauca.

En el estudio preliminar de la biomasa seca de *Eichhornia crassipes* como adsorbente de plomo y cromo en aguas, señalan la alta capacidad de absorción de plomo; se debe en primera instancia a la presencia de grupos hidroxilo en las moléculas de celulosa, además de los OH del agua enlazada, los cuales posibilitan la formación de puentes de hidrógeno. El proceso se ve favorecido por la estructura porosa del material como adsorbentes para el metal [24]. Todos estos estudios soportan la eficiencia de esta especie para tratamiento de aguas residuales de

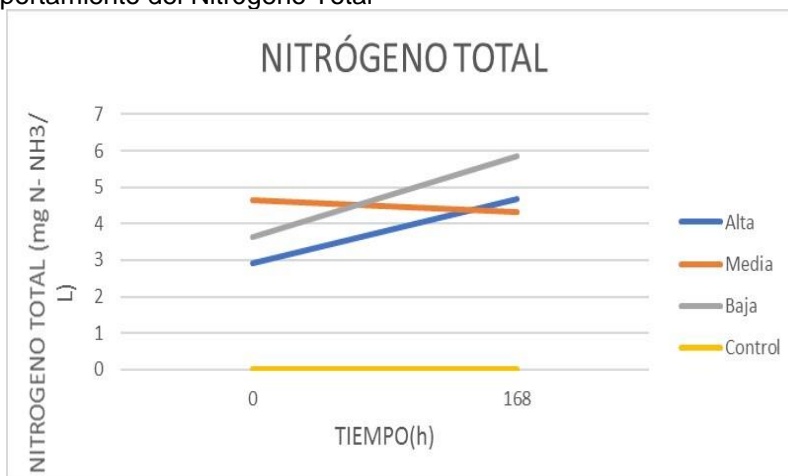
actividad minera artesanal de oro, proceso dónde utilizan mercurio, así como en **nuestro estudio** se ven resultados favorables para la remoción.

En este estudio los iones de mercurio se pudieron precipitar con hidróxidos, ya que se encontraban en presencia de nutriente “lombricompost”, ocasionando formación de iones complejos del metal en la solución acuosa además, de la modificación la acidez y la morfología del metal, como lo señalan en el estudio de “Los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (ii) y mercurio (ii) con la especie *Eichhornia crassipes*,” que la acumulación de los iones metálicos se da en un proceso complejo [14].

- **Nitrógeno Total**

El nitrógeno total en la figura 9, Tabla 5, tiene cambios muy significativos en la concentración alta, debido que a las 0h obtuvo un valor de 2,92 (mg N- NH<sub>3</sub>/ L) y a las 168h de 4,68 (mg N- NH<sub>3</sub>/ L), al igual que en la concentración baja, ésta presentó valores de 3,63 (mg N- NH<sub>3</sub>/ L) a las 0h y 5,85 (mg N- NH<sub>3</sub>/ L) a las 168h, en cambio en la concentración media no tuvo el mismo comportamiento dado que, a las 0 horas tuvo un valor de 4,66 (mg N- NH<sub>3</sub>/ L), y a las 168 horas 4,32 (mg N- NH<sub>3</sub>/ L).

Figura 9. Comportamiento del Nitrógeno Total



Fuente: propia

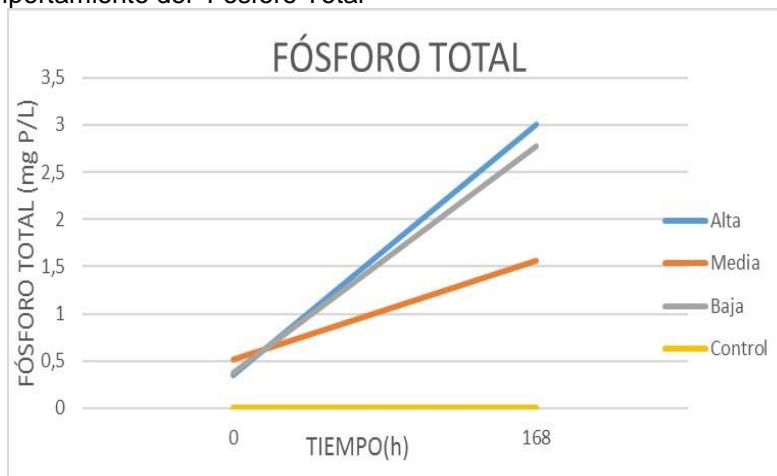
El nitrógeno total en la concentración alta y baja tiende a aumentar con el paso de las horas, a diferencia de la media que presenta una disminución probablemente porque se encontraba en un equilibrio de 50% agua residual y 50% natural. Como lo sostiene Palta y Morales, 2013. El cambio del nitrógeno en el agua es provocado

por el estrés de las plantas, lo cual afecta su metabolismo y actividad biológica, asociada a la rizosfera ya que contiene una cantidad diferencial de agua residual [45].

- **Fosforo total**

Figura 10, nos muestra el fósforo total, donde se puede observar los valores iniciales desde las 0h para cada concentración, alta 0,35 mg P/L, media 0,51 mg P/L y baja 0,37 mg P/L, lo que demuestra que el agua contenía moléculas de fosforo total, también la presencia de algas, micro algas y microorganismos como bacterias. Los valores finales a las 168h en la concentración alta 3 mg P/L, media 2,78 mg P/L y baja 1,56 mg P/L, con un aumento significativo debido al porcentaje de agua residual que contenían cada concentración generando la muerte de muchos microorganismos, degradación del mismo y mayor presencia del nitrógeno y fosforo, a diferencia del control que obtuvo un valor de 0 durante la curva de tiempo.

Figura 10. Comportamiento del Fosforo Total



Fuente: propia

En Las recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas plantean que *Eichhornia crassipes*, obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo. Además, en su sistema de raíces, pueden tener microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora [58]. El aumento significativo del fósforo, en la concentración alta, a las 0 horas presento un valor de 0,35 mg - P/L y a las 168 de 3 mg – P/L, porque al pasar las horas la planta creció, cambio tejido y células, las cuales, se intercambian en el agua. El fosforo y el nitrógeno forman parte de un grupo importante de sales, que sirven como nutrientes, para las plantas como Buchón de agua, debido a que el comportamiento

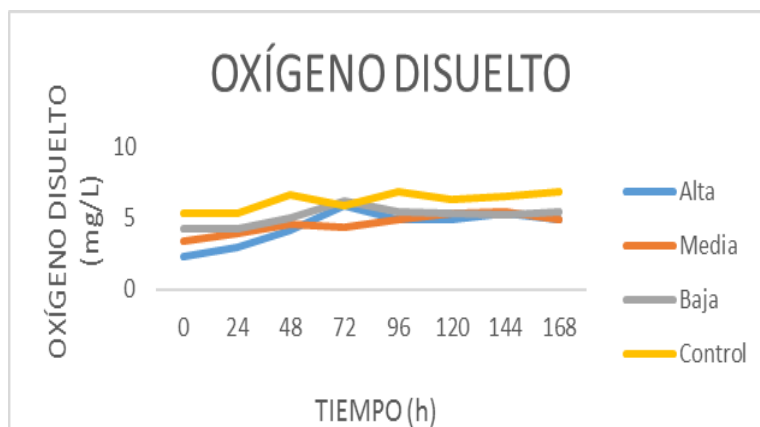


de ambos se atribuye a procesos metabólicos de la planta y tienden a aumentar con el paso del tiempo, ya que estos provienen de la agroindustria y de los residuos de la deforestación [43].

- **Oxígeno Disuelto**

El Oxígeno disuelto, es un parámetro que llega al agua por dos métodos, el primero es biológico por fotosíntesis y el otro es físico, se da el intercambio de aire y agua cuando hay movimiento, golpeteo o agitación, y se presenta intercambio de oxígeno. A las 0 horas presenta valores iniciales bajos dado que los bloques no presentaban ningún tipo de movimiento, pero con el paso de las horas sus valores aumentan porque el proceso de oxigenación es más biológico que atmosférico y ésta, es directamente proporcional al tiempo.

Figura 11. Comportamiento del Oxígeno Disuelto



Fuente: propia

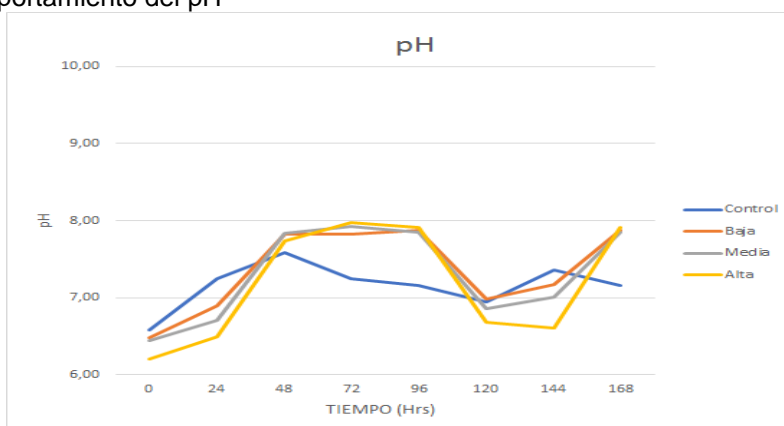
Los valores obtenidos demuestran según la tabla 5, figura 11, la concentración alta está dentro de un rango de 0 a 5 mg/L OD desde las 0 a 168 horas, al igual que la media y baja a las 0 horas, por tanto, se encuentran en hipoxia con posibles desapariciones de organismos y especies sensibles. El control desde las 0 horas está en 5,29 mg/L, a las 120 horas 6,29 mg/L y a las 168 horas 6,89 mg/L, por lo tanto, está en el rango de 5 a 8 de OD siendo este aceptable y adecuado para la vida de la gran mayoría de especies y organismos acuáticos. Pero los anteriores valores están por debajo de los normales de oxígeno establecidos para aguas naturales que son de 7 a 8 mg/L, lo que permite explicar que existe la presencia de un agente contaminante en este caso de mercurio en el agua proveniente de una planta de beneficio de minería de oro.

El incremento del oxígeno indica que hubo un aporte de algún organismo, en este caso están las plantas y seguramente algas provenientes del agua natural que se encargan de oxigenar el medio, pero no fueron lo suficiente para obtener valores de oxígeno más altos, dado que estos se encuentran en un promedio aproximado de 5 mg/L, es importante mencionar que los valores buenos son de 6 y los ideales entre 8 a 10 para este tipo de ensayos. Betsy y Cruz, 2017, mencionan que la presencia de oxígeno disuelto en el agua es indispensable para la vida de *Eichhornia crassipes*, además de otros seres acuáticos ya que la cantidad del mismo dependa de las condiciones ambientales, y este aumenta si la temperatura y la presión disminuyen [59].

- pH

El pH como se observa en la figura 12, se mantuvo en el rango óptimo para la buena adaptación de las plantas, dado que un pH más ácido las podría marchitar. En cada uno de las concentraciones alta, media y baja fue levemente ácido o tendencia a neutro, no hay fluctuación en el cambio de días a los que se expuso la planta además, no tiene ninguna alteración incluso está en el rango de 6,21 y 7,55 el cual obedece a las condiciones naturales del agua que se utilizó tanto natural como residual, por lo tanto, no se está generando ningún impacto al medio, a diferencia del control que se mantuvo dado que, no posee ninguna sustancia que lo acidifique o lo neutralice.

Figura 12. Comportamiento del pH



Fuente: propia

En la concentración alta los promedios de los valores de pH son de 7,2 el cual es más alto porque posee mayor concentración de agua residual con mercurio, a diferencia de los otros dos tratamientos que los valores tienden a neutralizarse entre un rango de 6 a 7,5 por la mezcla que contienen de ambos tratamientos. Los valores

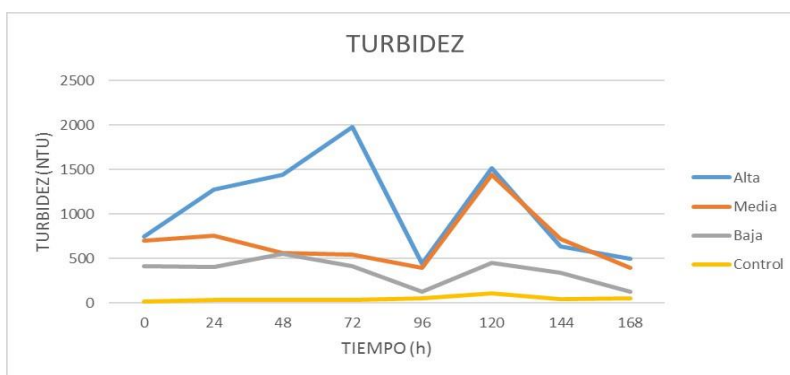
encontrados favorecen el crecimiento y adaptación de la planta, y se encuentran entre 6 a 8, rango requerido para una buena supervivencia de la especie según el Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (ii) y mercurio (ii) con la especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) [3].

Según el artículo de Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental, el pH óptimo de las aguas debe estar entre 6.5 y 8.5 es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9 donde relativamente existe la mayor parte de la vida biológica, además las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos [59]. En este caso el agua residual utilizada para el experimento no es de difícil tratamiento mediante procesos biológicos debido a que los valores de pH se encuentran entre 6,21 y 6,67 para la concentración alta que es la de mayor contenido de mercurio.

- **Turbidez (NTU)**

En la figura 13, se observan aumentos significativos, en la concentración alta a las 72 horas de 1980(NTU), en la media a las 120h de 1442 (NTU), en la baja a las 48h de 551(NTU), y en el control no fue tan significativo pero su mayor valor alcanzado fue de 109(NTU), durante las 120h.

Figura 13. Comportamiento de la Turbidez



Fuente: propia

A las 168h la turbiedad decrece en todas las concentraciones, debido a la competencia para la supervivencia entre las algas con la macrófita. A diferencia del

estudio realizado por Quispe y Arias, 2017. Donde hubo un aumento en la turbiedad, ya que los valores obtenidos en la medición de la misma fueron de 12 NTU al inicio y el dato final a la cuarta semana fue de 12.9 NTU [59].

Observamos que la relación concentraciones vs turbidez es directamente proporcional debido a que, a mayor cantidad de concentración y horas, mayor es la turbidez. En el control tiene una diferencia significativa ya que esta no cuenta con ninguna concentración lo cual, indica que los sólidos suspendidos en el agua y la presencia de ellos se debe al contenido del agua residual de minería que contiene lodos, a esto se le suma los nutrientes y el oxígeno. La turbidez alta, puede ser por el mínimo o nulo ingreso de luz solar al montaje, generando poca fotosíntesis y conllevando a la muerte de organismo e incrementó de nutrientes.

- **Conductividad**

Los valores obtenidos de conductividad en la figura 14, a las 168h finalizando el bioensayo, fueron en el control de 0,5 mS, alta 0,7 mS, media 0,1 mS y baja 0,2 mS, ya que tenían gran cantidad de nutrientes, en comparación con el estudio de “Fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera” en 2016, los resultados obtenidos fueron de 110 en la muestra patrón y 576,5 en el efluente debido que a este no se le agrego ningún tipo de nutrientes que ayudara a aumentar estos valores[35].

Figura 14. Comportamiento de la Conductividad



Fuente: propia

Teniendo en cuenta que la conductividad está relacionada con el flujo de la energía en el agua a partir de la presencia de iones, y estos están relacionados con los

sólidos disueltos totales que son las sales, lo cual explica que las plantas a las 48h ya se han adaptado al medio y por lo tanto inician un proceso metabólico de absorción de nutrientes. Los nutrientes son las sales que se encuentran disueltas en el agua, haciendo que en el lapso de tiempo de 48 a 96h disminuyan los iones por el consumo de las plantas, después que las plantas han capturado todos los nutrientes que necesitan, no es necesario estar en alimentación todo el tiempo, es por ello que después de las 96h la conductividad vuelve a las condiciones iniciales.

La conductividad en la concentración alta, media y baja a las 168h disminuyo, A diferencia de los resultados obtenidos en “Evaluación in vitro de la taruya (*Eichhornia crassipes*) como agente biorremediador en aguas contaminadas con cromo”, Que fueron de 284 y 414  $\mu\text{s}$  los cuales estaban dentro de los valores sugeridos para la adaptación de *E. crassipes*, ya que esta no soportaría altos valores de conductividad, puesto que afectarían su crecimiento debido al estrés salino que inhibe la división celular y la expansión de la planta [34]. Por otro lado, la conductividad como medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica y la concentración de sales solubles, debe mantenerse en un rango optimo que facilite el manejo de la fertilización y evite problemas de fitotoxicidad en las plantas [60].

Tabla 6. ANOVA de Parámetros fisicoquímicos complementarios  
**Tabla de ANOVA**

		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Temperatura (°C) * Tratamiento	Entre grupos (Combinado)	.533	3	.178	.366	.778
	Dentro de grupos	13.606	28	.486		
	Total	14.140	31			
Turbiedad (NTU) * Tratamiento	Entre grupos (Combinado)	4596509.646	3	1532169.882	13.443	.000
	Dentro de grupos	3191255.729	28	113973.419		
	Total	7787765.375	31			
pH * Tratamiento	Entre grupos (Combinado)	.222	3	.074	.221	.881
	Dentro de grupos	9.384	28	.335		
	Total	9.606	31			
Oxígeno Disuelto (mg/L) * Tratamiento	Entre grupos (Combinado)	15.834	3	5.278	7.476	.001
	Dentro de grupos	19.767	28	.706		
	Total	35.601	31			

Conductividad (mS) * Tratamiento	Entre grupos (Combinado)	2.440	3	.813	3.490	.029
	Dentro de grupos	6.526	28	.233		
	Total	8.966	31			

Según el ANOVA de la tabla 6, los parámetros fisicoquímicos que tienen relación entre las variables con significancia menores a 0,05 son: Turbiedad (NTU) con un  $p=0.000$ , oxígeno disuelto (mg/L) con un  $p=0.001$  y conductividad (mS) con un  $p=0.029$ , ya que estos obtuvieron altos valores de F, demostrando desigualdad de medias cuadráticas. Por lo anterior, son altos ya que las medias de las variables independientes difieren en cada uno de los grupos. A diferencia del pH y la temperatura que la significancia es mayor a 0,05, por lo tanto, F es menor y su relación no es relevante. Los parámetros anteriormente mencionados son los que presentan mayor diferencia significativa durante el bioensayo.

#### 4.2.1. Comportamiento de *Eichhornia crassipes* durante la exposición a aguas residuales provenientes de una planta de beneficio de minería de oro de 0 a 168 horas.

Las plantas a las 24h no presentaban cambio, igual a las 48h, al pasar las 72h empezaron a mostrar nuevas raíces, a las 96h ya tenían nuevas hojas, pero con el paso de las 120h a las 168h, la especie ya presentaba cambios significativos con muy buena adaptación al medio, como se evidencia en la tabla 7 y anexo D. Por esto, es importante analizar el comportamiento de *Eichhornia crassipes*, expuesta a agua residual proveniente de una planta de beneficio minera para así, saber el nivel de adaptación de la planta, observando si los tallos se hacen más fuerte con el paso de los días, si hay presencia de nuevas raíces y si las hojas conservan su brillante color verde [34], por medio de monitoreo constante.

Tabla 7.comportamiento de la especie *Eichhornia crassipes*

Hora	No. de Plantas		Muertas	Nuevas	Total	Hg (mg/L)
0 h	12	Las plantas no presentan ningún cambio en su morfología debido a que solo han pasado unos minutos desde que se cambiaron de agua natural para el proceso de adaptación al agua del efluente minero.	0	0	12	Alta
	12	Las plantas no presentan ningún cambio en su morfología debido a que solo han pasado unos minutos desde que se extrajeron de su hábitat natural	0	0	12	Media

	12	Las plantas no presentan ningún cambio en su morfología debido a que solo han pasado unos minutos desde que se extrajeron de su hábitat natural	0	0	12	Baja
168 h	12	Cada una de las plantas presenta hojas nuevas	0	2	14	Alta
	12	A todas las plantas le han salido raíces nuevas y sus tallos están más fuertes	0	3	15	Alta
	12	Las plantas presentan un buen color y raíces nuevas	0	4	16	Baja

Fuente: propia

En nuestro estudio la planta permanece viva respondiendo positivamente por un periodo de 13 días, donde estuvo expuesta a nutriente (lombricompost) y agua residual de actividad minera, con luz permanente, mostrando una buena adaptación a ecosistemas distintos a su hábitat natural. Al igual que en el estudio “Fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera”, en el cual Domínguez, Gómez y Ardila, 2016. Señalan dos fases: i) trasplante y adaptación de las plantas durante 24 días y ii) fitorremediación del efluente [35].

Las plantas vinculadas al proceso de fitorremediación como se evidencia en la tabla 8, tuvieron un peso promedio de 38,8 g y una altura promedio de 31,5 cm, se les hizo limpieza retirándoles hojas con color amarillo, garantizando que las plantas utilizadas en el bioensayo estuvieran en el mejor estado posible, estas fueron expuestas a diferentes concentraciones, en las cuales se realizó un seguimiento de cada muestra en función de tiempo (Horas) y se observó cualitativamente todas las partes de la planta.

Tabla 8. Peso y altura promedio de *Eichhornia crassipes*

Variable	N. planta	Tratamiento			
		Alta	Media	Baja	Control
Peso (g)	1	42,5	45,5	38,5	44,9
	2	46,2	36,3	44	59
	3	32,5	47,6	54,7	49,8
	4	68,3	18,5	27,7	57,1
	5	43,5	46,1	24,4	69,9
	6	50,9	33,9	57,3	29,6
	7	28,2	21,6	34,9	28,6
	8	40,2	27,6	41,2	38
	9	31,4	39,8	29,6	24,6
	10	23,7	23	25,1	40,2
	11	37,4	22,1	22,4	48,3
	12	30	42,2	29,4	49,9
<b>Promedió</b>		<b>39,6</b>	<b>33,7</b>	<b>35,8</b>	<b>44,9</b>

<b>Altura (cm)</b>	1	26	25	22	29
	2	33	32	18	28
	3	22	30	22	29
	4	27	22	20	35
	5	29	22	17	22
	6	26	20	24	26
	7	30	24	24	18
	8	27	21	18	25
	9	28	22	21	26
	10	21	23	21	25
	11	27	22	11	27
	12	18	19	16	30
<b>± DS</b>		<b>26</b>	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>26</b>

Fuente: propia

El tiempo de exposición al efluente evaluado en este estudio fue de 7 días. De acuerdo con lo indicado por Gómez, 2016. Se encuentra dentro de la máxima eficiencia de remoción de los parámetros químicos, biológicos y físicos [33] [35]. “En otros estudios como el de evaluación in vitro de la Taruya (*Eichhornia crassipes*) como agente biorremediador en aguas contaminadas con cromo, se expone, la planta a un periodo máximo de 17 días donde se llevaron a cabo tres fases: adaptación, nutrición e intoxicación con la solución de cromo, monitoreando el pH y la conductividad del agua. Se determinó la concentración de Cromo en cada recipiente verificando su variación significativa, la planta demostró su capacidad para adaptarse fácilmente y hasta el día 17 tuvo un alto grado de absorción de cromo” [34].

De acuerdo con Jaramillo y Flores, 2012. El crecimiento y adaptación de *Eichhornia crassipes* va a depender del medio donde se desarrolle, es decir, cuando hay escasez de elementos fertilizantes se inhibe el crecimiento de la planta. Por el contrario, en abundancia de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno cómo se logra ver en la figura 9 y 10, la planta se desarrolla a su máximo límite, adquiriendo un intenso color azul-verdoso. Los parámetros que se deben tener en cuenta para una adecuada adaptación de la planta son los siguientes [61], los cuáles se corroboraron y resultaron positivos en nuestro estudio:

- Requiere iluminación intensa o estar en semi sombra
- La temperatura debe estar entre 25 a 30°C teniendo en cuenta que en temperaturas por debajo de 10°C les produce la muerte
- Necesita un PH entre 6.5 – 7.5
- El crecimiento de la planta es favorecido por el agua rica en nutrientes, en especial el nitrógeno, fósforo y potasio.



Teniendo en cuenta todo lo anterior se comprueba una vez más la buena adaptación que se obtuvo en este estudio se debió a que los parámetros fisicoquímicos arrojaron muy buenos valores, los cuales se encontraron en el rango requerido y favorable para la planta.

Fotografía 4. La planta después de 168 horas



Fuente: propia

- Concentración de Hg en *Eichhornia crassipes*

Las plantas *Eichhornia crassipes* tuvieron una concentración de mercurio menor a 0.005, como se puede ver el anexo B. Medidos con el espectrómetro de absorción atómica con un límite de cuantificación de 0,001 mg/Kg del laboratorio de Análisis Ambiental de Cali.

Tabla 9. Concentración de Hg en plantas

Hora	Concentración de mercurio en planta			Método
	C. Alta	C. Media	C. Baja	
0h	< 0.005 mg/Kg	< 0.005 mg/Kg	< 0.005 mg/Kg	
168h	< 0.005 mg/Kg	< 0.005 mg/Kg	< 0.005 mg/Kg	EPA 7471B

Fuente: propia

La tendencia de los resultados puede deberse a que, se analizó el electrolito de la planta completa y no en órganos vegetales puntuales como (raíz, tallo y hoja). Como evidencia el estudio sobre la capacidad del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para bioconcentrar y biomonitor acuático, en el cual se comprobó que bioconcentración de mercurio en el tejido radicular dependía, tanto de la cal como de la concentración y la capacidad para bioconcentrar metales en sus raíces. Se ha

atribuido a la aparición de ciertos complejos de unión a metales, lo que proporciona evidencia de que el Jacinto de agua, es un buen absorbente del mercurio, además, el aumento dependiente del tiempo y la concentración de mercurio en el tejido de la raíz de las plantas. Ese estudio también subrayó la utilidad del Buchón de agua para biomonitorizar el mercurio acuático. Se sabe que los metales pesados, inducen metal, nitrógeno y carbón (MNC) en las células meristemáticas de la raíz del Jacinto de agua a través del deterioro de la función del huso en la mitosis [55].

En otro estudio sobre “Eficiencia de metales pesados por buchón de agua en humedales artificiales”, Se determinó la capacidad de Absorción de las raíces del Jacinto de agua para ciertos metales pesados, encontrando una absorción de plomo por las raíces del mismo de 5.4 kg/ha siendo ésta la planta más eficiente. En nuestro estudio se utilizó como medio de absorción todo el tejido vegetal no sólo las raíces, lo cual hace que el mercurio absorbido se distribuya en toda la planta [59].

La fitorremediación de metales pesados como el Hg con plantas acuáticas, constituye una aproximación de bajo coste e impacto ambiental, sin embargo, en ambientes enriquecidos en nutrientes, el metal puede reducirse a consecuencia de la competencia con cationes o por unión con aniones. En el estudio realizado por Caldelas, en el 2008, se demostró que los tejidos sumergidos como la raíz de *Eichhornia crassipes* alcanzaron una concentración de Hg de 4 mg/L en un periodo de tiempo de 8 semanas, a diferencia de nuestro estudio, el cual alcanzo una remoción menor a 0,005 mg/L, en todo el tejido vegetal en un lapso de tiempo de 7 días, esto se pudo deber a que las plantas se expusieron a un periodo de tiempo mucho más corto, además las altas concentraciones de nutrientes como el fosforo y el nitrógeno inhiben el proceso de retención de metales en la planta. Efecto combinado del HgCl<sub>2</sub> y el KnO<sub>3</sub> sobre la extracción de mercurio y la composición elemental del Jacinto de agua [62].

También, Carreño y Granada, 2016. Han demostrado que en especies como *Eichhornia crassipes*, el tamaño y el área superficial de las raíces juegan un papel importante en la fitorremediación [25]. La zona de absorción del elemento químico por la planta, influye en su distribución interna, así como algunos metales se transportan fácilmente dentro de la planta, otros metales son poco móviles y su acumulación se produce mayormente en las raíces [3].

#### 4.3. Determinación de los porcentajes de remoción de Hg en agua residual provenientes de una planta de beneficio de minería de oro tratada con *Eichhornia crassipes* durante 0h, y 168h.

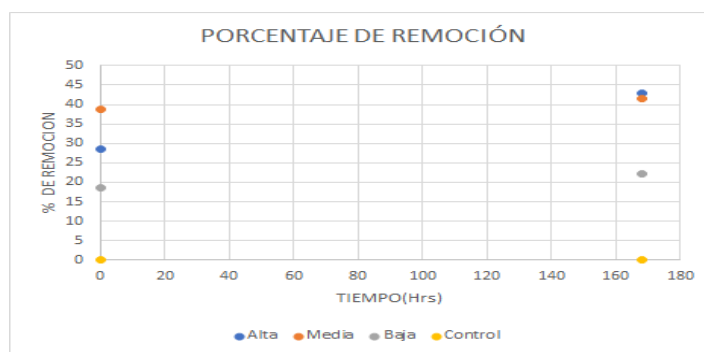
Los porcentajes de remoción de mercurio de acuerdo a la tabla 10, figura 15, obtenidos de las 0h a las 168h, en las diferentes concentraciones de la solución madre fueron los siguientes: alta 42,86%, media 41,67% y baja 22,22% del total de las concentraciones de mercurio presentes en el agua, siendo muy significativos debido a que a mayor concentración de Hg mayor es el porcentaje de remoción.

Tabla 10. Concentración de Mercurio de 0 a 168 horas

Tratamientos	Concentración inicial	Concentración final	Porcentaje de remoción
Tratamiento 1. (100% AR)	0.63	0.36	42,86%
Tratamiento 2. (50% AR)	0.36	0.21	41,67%
Tratamiento 3. (25% AR)	0,27	0,21	22,22%

Fuente: Propia

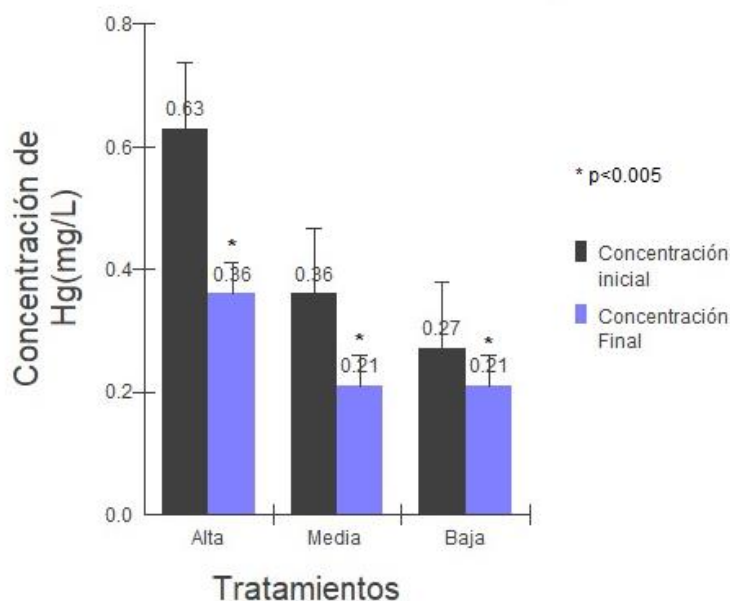
Figura 15. Porcentajes de remoción con respecto al tiempo



Fuente: propia

Los porcentajes de remoción para las concentraciones alta, media y baja corrobora que, a menor cantidad de agua residual, menor es el porcentaje de remoción. En la concentración alta hay mayor porcentaje de remoción, pero la distribución aleatorizada de los bloques permitió hacer una comparación entre concentraciones dando un enfoque, con la media y baja para lugares que poseen niveles medios o mínimos de contaminación por metales resultando favorable en función del tiempo.

Figura 16. Comparación entre concentraciones de Hg iniciales y Finales



Al comparar las diferentes concentraciones con respecto al tiempo se pudieron apreciar las siguientes variaciones, para la **concentración alta**, hay un mayor porcentaje de remoción dado que posee el efluente sin ninguna disolución, lo cual explica que *Eichhornia crassipes* **tiene mayor eficiencia** donde encuentra mayores concentraciones o en su efecto agua residual 100% como se evidenció en éste estudio, se esperaría incremento de la remoción si las horas se extienden. En la figura 16, se logra corroborar después de aplicar chi-cuadrado que existe una diferencia significativa  $p < 0.005$  entre la concentración de Hg inicial y final para cada tratamiento en el experimento.

En el análisis de la planta no se detectó concentración de mercurio, sin embargo, el nivel de mercurio en el agua residual disminuyó con respecto a la concentración inicial. Los altos valores de la turbidez pudieron haber sido la causa de sedimentación del mercurio, quedando este en el material del filtrado en el momento del análisis del agua y por ello no hubo retención por parte de la planta [35]. En cuanto al efecto del porcentaje de remoción por concentración, los resultados obtenidos muestran que, a mayor concentración de solución madre mayor eficiencia de remoción. Este incremento está relacionado con el aumento del área de contacto del sólido adsorbente y el número de los sitios de biosorción, disponibles en su superficie [31].

Posiblemente, el porcentaje de remoción había sido mayor, si el tiempo de exposición fuera extendido a otras 168 horas, las plantas presentaron una muy

buena supervivencia y adaptación al medio, en la figura 7, se observa que a mayor tiempo, mayor porcentaje de remoción. Al comparar el estudio Fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera obtuvieron, un porcentaje de remoción de 70,8%, el cual calcularon cada mes y el montaje estuvo por un lapso de seis meses [35]. Superior a los 7 días del ensayo al igual que los porcentajes de remoción por concentración.

Al comparar el porcentaje de remoción de nuestro estudio con otros estudios donde se aplicaron diferentes tratamientos a efluentes con *Eichhornia crassipes*, que sirvieron como marco de referencia, se puede indicar lo siguiente: los experimentos con tiempos mayores de exposición mostraron diferencia significativa en el porcentaje, como por ejemplo en el estudio Capacidad de las macrófita *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* para eliminar el níquel, Brees, Crespo, Rizzo y Rossa , 2012, expresan que los porcentajes de remoción para *Eichhornia crassipes* fueron del 100%, 93% y 85% en los tratamientos 1, 3 y 6 mg. l-1 respectivamente, ya que el tiempo de exposición es de 30 días [16].

En nuestro trabajo experimental no pudimos evidenciar los porcentajes de remoción a mayor tiempo por factor económico, el presupuesto estaba orientado para un mínimo de muestras, lo cual consideramos sea un criterio a tener en cuenta para futuras investigaciones relacionadas con el tema. Sin embargo los resultados de nuestro estudio *in vitro* demuestra eficiencia de remoción por parte de la especie vegetal y serán de mucha utilidad para futuros estudios *in vitro* e *in situ* en plantas de beneficio de minería de oro, como alternativa biológica de remediación de efluentes de ésta actividad en la búsqueda de mejorar la calidad de entorno laboral, ambiental y salud de comunidades mineras.

## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5. CONCLUSIONES

1. *Eichhornia crassipes* resulto ser una buena alternativa de fitorremediación dado que logro un 43%, de remoción y promedio máximo alcanzado a las 168 horas de exposición de la planta, en la concentración alta de 0,36 mg/L.
2. Las concentraciones establecidas altas 0.63 mg/L, media 0.36 mg/L y baja 0.27 mg/L se determinaron a partir de diluciones del agua residual, sin lugar a dudas la planta presenta un fuerte potencial para sistemas contaminados con grandes o mínimas cantidades de metales pesados.
3. El mercurio encontrado en el agua residual proveniente de una planta de beneficio de minería de oro fue en la concentración alta de 0,63mg/L, media 0,36 mg/L y baja 0,27mg/L, superando el 0,002 mg/L valor establecido por la resolución colombiana 0631 de 2015. A diferencia de el que se encontró en la planta menor a 0.005 mg/L, tanto a las 0 horas como a las 168h, esto producto de los altos valores de nutrientes obtenidos y de turbidez, los cuales pudieron afectar la eficiencia de la especie y posible sedimentación del metal en el momento del filtrado en el laboratorio para su requerido análisis.
4. La especie *Eichhornia crassipes* es una planta potencialmente favorable para la fitorremediación, y se logra evidenciar en los porcentajes de remoción a las 168 horas del bioensayo, en la concentración alta 42,85%, en la media 41,62% y la n baja 22,22%.
5. La adaptación de *Eichhornia crassipes* fue muy buena, debido a que con el paso de los primeros 5 días mostro nuevos brotes, raíces nuevas y un buen fortalecimiento en los tallos, además con el cuidado y observación que se le dio a la especie, pudo haber permanecido viva por un periodo superior a los 8 días en los que se tuvo expuesta a el agua residual con presencia de mercurio.

## 5.1. RECOMENDACIONES

1. Los resultados obtenidos en esta evaluación *In vitro* son el soporte para aplicar este tipo de fitorremediación *In situ* en plantas de beneficio de minería de oro artesanal utilizando *Eichhornia crassipes*.
2. Es importante la utilización de nutrientes como el lombricompost, ayuda a que la planta tenga una adaptación más rápida y segura, dado a que es una especie que se encuentra en ecosistemas naturales con altos valores de nutrientes.
3. Los análisis de concentración de mercurio se deben realizar el mismo día de recolección de la muestra para evitar alteraciones en los resultados debido a que el mercurio es un elemento volátil.
4. Realizar diferentes análisis a la planta y extender el tiempo de exposición para determinar su capacidad máxima de absorción.
5. Tener en cuenta todo el estudio *in vitro* de esta alternativa de fitorremediación para posteriormente extrapolarlo *in situ* como tratamiento de fitorremediación de aguas residuales contaminadas.
6. Hacer una buena disposición final de la planta después de haber estado expuesta a contaminantes como el mercurio, una opción es llamar a compañías como Litio las cuales son encargadas de transformar metales pesados en compuestos que no afecten el medio ambiente, es en nuestro caso no fue necesario porque el mercurio contenido en el material vegetal estuvo por debajo de 0,005 mg/L.
7. Es importante realizar estudios de fitorremediación con *Eichhornia crassipes* en comunidades mineras, ya que representa una alternativa sustentable y de bajo costo, que permite mejorar ecosistemas contaminados con metales pesados como el mercurio.

## REFERENCIAS

- [1] R. d. S. P. I. 0124-0064, «Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano,» *Revista de Salud Pública*, vol. 16, nº 6, 2015.
- [2] Agencia Nacional de Minas y Energía , «La producción nacional de oro aumentaría a 57 toneladas este año, según MinMinas,» 22 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.larepublica.co/especiales/minas-y-energia/la-produccion-nacional-de-oro-aumentaria-a-57-toneladas-este-ano-segun-minminas-2613429>. [Último acceso: 2019 Marzo 2019].
- [3] «Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (ii) y mercurio (ii) con la especie *Eichhornia Crassipes* (jacinto de agua),» *la Sociedad Química del Perú*, vol. 80, nº 3, pp. 1-10, Septiembre 2014.
- [4] Ministerio de Energía y Mina, «Anuario Minero,» 30 Abril 2017. [En línea]. Available: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/98805/ANUARIO\\_MINERO\\_2017\\_1\\_.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/98805/ANUARIO_MINERO_2017_1_.pdf). [Último acceso: 15 Mayo 2018].
- [5] Agencia Nacional de Minería, «Titulo Mineros Oro y Metales Preciosos,» 17 Marzo 2018. [En línea]. Available: <http://mineriaencolombia.anm.gov.co/images/Presentaciones/FICHA-MINERAL---ORO-2018.pdf>. [Último acceso: 15 Mayo 2018].
- [6] L. Guiza, «LA PEQUEÑA MINERÍA EN COLOMBIA: UNA ACTIVIDAD NO TAN PEQUEÑA,» *Universidad Nacional de Colombia* , vol. 80, nº 181, pp. 109 -117 , 17 Mayo 2013.
- [7] J. Anzola, «Suárez en la mira: Riqueza minera, conflictos sociales y grupos armados ilegales al acecho,» *Controversia*, vol. 6, nº 3, pp. 75 - 106, Octubre 2012.
- [8] Ministerio de Ciencias, «Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo,» 11 Septiembre 2016. [En línea]. Available: [https://minciencias.gov.co/sala\\_de\\_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo](https://minciencias.gov.co/sala_de_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo). [Último acceso: 14 Septiembre 2018].
- [9] «Desbordamiento del extractivismo minero en Colombia: el caso de Suárez, Cauca,» *TRUJILLO, DANIELLA ; OROJAS, DANIEL ; LÓPEZ, NATALIA*, vol. 39, nº 26, pp. 175 - 199, Diciembre 2018 .
- [10] M. Casallas y J. Martines, «Panorama de la minería del oro en Colombia,» 12 Febrero 2016. [En línea]. Available: [file:///C:/Users/eva/Downloads/1386-Texto%20del%20art%C3%ADculo-4492-1-10-20160315%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/eva/Downloads/1386-Texto%20del%20art%C3%ADculo-4492-1-10-20160315%20(3).pdf). [Último acceso: 20 Agosto 2018].
- [11] CRC, «minería suarez cauca,» 26 Abril 2017. [En línea]. Available: <http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/mineria/MINERIA%20SUAREZ/MINERALIZACION%20Suarez.pdf>. [Último acceso: 23 Febrero 2018].



- [12] A. Delgadillo, C. González, F. García, J. Villagómez y O. Acevedo, «Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación,» *Tropical and subtropical agroecosystems*, vol. 14, nº 40, pp. 597 - 612, Agosto 2011.
- [13] M. Guevara y L. Ramírez, «Eichhornia crassipes, SU INVASIVIDAD Y POTENCIAL FITORREMIADOR,» *La granja*, vol. 22, nº 2, pp. 5 - 11, 3 Diciembre 2015.
- [14] R. Poma y A. Valderrama, «Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (ii) y mercurio (ii) con la especie Eichhornia Crassipes (jacinto de agua),» *scielo*, vol. 80, nº 3, 2014.
- [15] C. Cristóbal, P. d. L. Claudia, C. Silke, S. Irene, H. Manuel y V. Cecilia, «Aprovechamiento potencial del lirio acuático (Eichhornia crassipes) en Xochimilco para fitorremediación de metales,» Agosto 2012. [En línea]. Available: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952012000600007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000600007). [Último acceso: 12 julio 2018].
- [16] P. BRES, D. CRESPO, P. RIZZO y R. LA ROSSA, «Capacidad de las macrofitas Lemna minor y Eichhornia crassipes para eliminar el níquel,» 11 abril 2012. [En línea]. Available: [file:///C:/Users/Evala/Downloads/Dialnet-CapacidadDeLasMacrofitasLemnaMinorYEichhorniaCrass-3983900%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Evala/Downloads/Dialnet-CapacidadDeLasMacrofitasLemnaMinorYEichhorniaCrass-3983900%20(2).pdf). [Último acceso: 2019 julio 2018].
- [17] G. Ana, A. Ricardo, P. Gabriel, M. Ernesto y A. Jose, «Aplicación de la técnica fotoacústica resuelta en tiempo al monitoreo de la fotosíntesis en plantas de lirio acuático (Eichhornia Crassipes),» 1 julio 2008. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/Evala/Downloads/Dialnet-AplicacionDeLaTecnicaFotoacusticaResueltaEnTiempoA-5461226.pdf>. [Último acceso: 19 Julio 2018].
- [18] C. Sergio y P. Juan, «CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR METALES PESADOS EN MÉXICO: PROBLEMÁTICA Y ESTRATEGIAS DE FITORREMIACIÓN,» 2016. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/Evala/Downloads/49206-151503-1-PB.pdf>. [Último acceso: 25 julio 2018].
- [19] P. Javier, «Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros,» Marzo 2015. [En línea]. [Último acceso: 03 junio 2018].
- [20] O. SARANGO y J. SÁNCHEZ, «Diseño y construcción de 2 biofiltros con Eichhornia crassipes y Lemna minor para la evaluación de la degradación de contaminantes en aguas residuales de la extractora río manso exa s.a. "planta la comuna", Quinindé,» 21 Marzo 2016. [En línea]. Available: <http://dSPACE.espace.edu.ec/bitstream/123456789/4930/1/236T0194.pdf>. [Último acceso: 10 Noviembre 2018].
- [21] S. Miguel, «Evaluación biotóxica de Daphnias utilizando contaminantes provenientes de la actividad minera,» 2016 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/Evala/Downloads/13585->

Texto%20del%20art%C3%ADculo-46885-1-10-20170731%20(1).pdf. [Último acceso: 02 junio 2018].

- [22] A. Barrera, A. Castañeda, J. Santamaria, J. Munive, A. Rivera y M. Ramos, «Modelo de biorremediación de plomo con lirio acuático,» vol. 5, nº 17, pp. 15 - 28, Diciembre 2019.
- [23] E. Morales, J. Reyes, L. Quiñones y M. Milla, «Efecto del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en la depuración del agua residual del colector Santa Lucía- Chachapoyas,» *Ciencia y Tecnología*, vol. 15, nº 4, pp. 19 -25, 2019.
- [24] E. Atehortua y C. Gartner, *ESTUDIOS PRELIMINARES DE LA BIOMASA SECA DE EICHHORNIA CRASSIPES COMO ADSORBENTE DE PLOMO Y CROMO EN AGUAS*, 2013.
- [25] F. Uriel y S. Carreño, «DISEÑO, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UNA TECNOLOGÍA DE FITORREMEDIACIÓN A ESCALA DE LABORATORIO UTILIZANDO LA EICHHORNIA CRASSIPES PARA EL TRATAMIENTO AGUAS CONTAMINADAS CON CROMO.,» [En línea]. Available: <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2578/1/Art%C3%A9culo%20Carre%C3%B1o%20%26%20Granada..pdf>. [Último acceso: 16 julio 2018].
- [26] A. Diaz, V. Atencio y S. Pardo, «Evaluación de un humedal artificial con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para el tratamiento de efluentes piscícolas,» *Colombiana de Ciencias Pecuarias*, vol. 27, nº 3, pp. 202-210, 2014 .
- [27] L. Xion, Z. Yanli y Y. Yungiang, «Los análisis fisiológicos y proteómicos revelan el mecanismo de tolerancia de *Eichhornia crassipes* al estrés por cadmio de alta concentración en comparación con *Pistia stratiotes*,» 2015. [En línea]. [Último acceso: 18 julio 2018].
- [28] B. Yazmin y P. José, «DETERMINACION DEL POTENCIAL DE ABSORCION DE COBRE EN SOLUCION ACUOSA DE LAS ESPECIES,» 2015. [En línea]. Available: <http://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/53>. [Último acceso: 18 julio 2018].
- [29] R. BENITEZ, V. CALERO, E. PENA y J. MARTIN, «EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE LA ACUMULACIÓN DE CROMO EN EL BUCHÓN DE AGUA (*Eichhornia crassipes*),» *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 9, nº 2, pp. 66 - 73 , 2011.
- [30] C. Uriel, «Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*,» 2016 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/bioteologia/article/view/52271/html>. [Último acceso: 08 Junio 2018].
- [31] V. Lisette, F. Natalia y G. Harold, «ADSORCIÓN DE PLOMO (II) EN SOLUCIÓN ACUOSA CON TALLOS Y HOJAS DE *Eichhornia crassipes*,»

2017. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n2/v20n2a21.pdf>.
- [32] M. María del Ángel, «VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE TRES CIÉNAGAS DEL DEPARTAMENTO DE CESAR MEDIANTE MACROINVERTEBRADOS ASOCIADOS A *Eichhornia crassipes* (PONTEDERIACEAE),» 2014. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v36n2/v36n2a9.pdf>. [Último acceso: 16 junio 2018].
- [33] V. Clara, «Tratamiento de los residuos líquidos del área de tinturados en flores de exportación con *Eichhornia crassipes* (Buchón de Agua),» [En línea]. Available: <file:///C:/Users/Evala/Documents/69510204.pdf>.
- [34] c. Pedro y f. Jeirson, «Evaluación in vitro de la taruya (*eichhornia crassipes*) COMO AGENTE BIORREMIADOR EN AGUAS CONTAMINADAS CON CROMO,» 2017. [En línea]. Available: [http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/4530/1/Evaluaci%C3%B3n%20in%20vitro%20de%20la%20taruya\\_Pedro%20Cort%C3%A9s%20S\\_2017.pdf](http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/4530/1/Evaluaci%C3%B3n%20in%20vitro%20de%20la%20taruya_Pedro%20Cort%C3%A9s%20S_2017.pdf). [Último acceso: 22 junio 2018].
- [35] D. María, G. Sara, N. Alba y A. Ardila, «Fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera,» 2016. [En línea]. Available: <http://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/705/1075>. [Último acceso: 19 Junio 2018].
- [36] J. Marco y B. Diana, «MANEJO DE MACRÓFITAS ACUÁTICAS EN LA ACUMULACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE CIANURO PRODUCTO DEL BENEFICIO DEL ORO EN LA MINA LA COQUETA,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v20n1/v20n1a06.pdf>. [Último acceso: 23 Junio 2018].
- [37] «Primer Congreso y Reunión fundacional de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC) de los países Andinos,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.medellin.unal.edu.co/~adtqa/images/memorias-SETAC-medellin.pdf>. [Último acceso: 11 agosto 2018].
- [38] C. ARROBA y D. ÁVILA, «EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UN CAMPUS UNIVERSITARIO,» 09 marzo 2015 . [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9408/%c3%81vilaDavid2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 12 Marzo 2019].
- [39] A. Arévalo, S. H. Y. Vélez, A. Jacipt y A. Medina, «ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE DEPURACIÓN DE *Eichhornia crassipes*, *Crypsogon zizanioides* y *Typha latifolia*, RESPECTO A PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO EL GUAYABAL UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES,» *Ambiental agua, aire y suelo*, vol. 8, nº 1, pp. 1 - 9 , 2016.

- [40] C. Vargas, A. Oviedo y M. Montañez, «Estado del arte, del uso de la en la fitorremediación de aguas residuales industriales,» *Magno*, vol. 9, nº 2, pp. 105 - 130, 2018.
- [41] G. Briñez, C. Solano, J. Sandoval, A. Rojas y G. Agudelo, «Fitorremediación de aguas contaminadas con componentes de amalgama de la preclínica de odontología de la Universidad Antonio Nariño, Ibagué (Colombia),» *Universidad nacional de colombia*, vol. 9, nº 2, pp. 59 - 70, 2019.
- [42] C. Gomez y S. Guarín, «Evaluar el efecto del proceso de fitorremediación con *eichornia crassipes* en un agua cianurada mediante cromatografía de gases,» 5 Febrero 2020. [En línea]. Available: <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/2800/camila%20G%c3%b3mez%20guti%c3%9rrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 18 Febrero 2020].
- [43] U. Carreño y S. Parra, «*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms: an integrated phytoremediation and bioenergy system,» *Chapingo serie de Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 25, nº 2, pp. 399 - 411, 3 Septiembre 2019.
- [44] D. Sanchez, «Evaluación de la capacidad de remoción de cromo de *Eichornia crassipes* y *Azolla* sp. con miras a su aplicación como tratamiento complementario de aguas residuales de la industria galvano técnica,» 11 Agosto 2019. [En línea]. Available: [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2134&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2134&context=ing_ambiental_sanitaria). [Último acceso: 25 Septiembre 2019].
- [45] P. GIOVANI HERNÁN, «Fito depuración de aguas residuales domesticas con poaceas: *brachiaria mutica*, *pennisetum purpureum* y *panicum maximun* en el municipio de popayán, cauca,» Diciembre 2013. [En línea]. Available: [www.researchgate.net/publication/279513615\\_FITODEPURACION\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_DOMESTICAS\\_CON\\_POACEAS\\_Brachiaria\\_mutica\\_Pennisetum\\_purpureum\\_y\\_Panicum\\_maximun\\_EN\\_EL\\_MUNICIPIO\\_DE\\_POPAYAN\\_CAUCA](http://www.researchgate.net/publication/279513615_FITODEPURACION_DE_AGUAS_RESIDUALES_DOMESTICAS_CON_POACEAS_Brachiaria_mutica_Pennisetum_purpureum_y_Panicum_maximun_EN_EL_MUNICIPIO_DE_POPAYAN_CAUCA). [Último acceso: 16 junio 2018].
- [46] M.ambiente, «Ley 685 del 2001,» 15 Agosto 2001. [En línea]. Available: [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley\\_0685\\_2001.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley_0685_2001.pdf). [Último acceso: 15 Marzo 2019].
- [47] C. colombia, «ley 373 de 1997,» 11 Junio 1997. [En línea]. Available: [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley\\_0373\\_1997.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf). [Último acceso: 15 Marzo 2019].
- [48] M. ambiente, «ley °1658- 15 julio 2013,» 15 Julio 2013. [En línea]. Available: [http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/LEY\\_1658\\_DEL\\_15\\_DE\\_JULIO\\_DE\\_2013.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/LEY_1658_DEL_15_DE_JULIO_DE_2013.pdf). [Último acceso: 15 Marzo 2019].
- [49] M. AMBIENTE Y DESARROLLO, «Decreto 2667 de 2012,» 21 Diciembre 2012. [En línea]. Available:

- <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Decreto2667.pdf>. [Último acceso: 15 Marzo 2019].
- [50] M. minas y energía, «Decreto 1073 de 2015,» 26 Mayo 2015. [En línea]. Available: [https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto\\_1073\\_2015.htm](https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto_1073_2015.htm). [Último acceso: 15 Marzo 2019].
- [51] M. ambiente, «DECRETO 1640 DE 2012,» 2 Agosto 2012. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/24189/389196/34.+DECRETO+1640+D+E+2012.pdf/16c0bbbb-644a-4a96-9c9d-b0edcbce50aa?version=1.1>. [Último acceso: 15 Marzo 2019].
- [52] M. ambiente, «Resolucion 1207 de 2014,» 13 Agosto 2014. [En línea]. Available: [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res\\_1207\\_2014.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_1207_2014.pdf). [Último acceso: 15 Marzo 2019].
- [53] M.AMBIENTE Y DESARROLLO, «Resolucion 631 de 2015,» 18 Abril 2015. [En línea]. Available: [https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R\\_MADS\\_0631\\_2015.pdf](https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf). [Último acceso: 15 Marzo 2019].
- [54] M. ambiente, «Resolución 1907 del 27 de diciembre 2013,» 27 Diciembre 2013. [En línea]. Available: [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d0-Res\\_1907\\_2013\\_2.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d0-Res_1907_2013_2.pdf). [Último acceso: 15 Marzo 2019].
- [55] L. Maheswar y B. Panda, «Studies on the Ability of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) to Bioconcentrate and Biomonitor Aquatic Mercury,» *Environmental Pollution*, vol. 66, nº 1.
- [56] Espectroscopia de emision y absorción atómica, « Espectroscopia de emision y absorción atómica,» [En línea]. Available: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8252/4/T7Abasorc.pdf>.
- [57] Guía para la utilización de las Valijas Viajeras – Oxígeno Disuelto, «Oxígeno Disuelto,» [En línea]. Available: [http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso\\_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf](http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf).
- [58] N. C. J. L. L. G. G. M. T. K. D. S. T. M. Cruz, «Tratamiento De Las Aguas De La Laguna “Mansión” Mediante La Especie *Eichhornia crassipes*, Para El Riego De Áreas Verdes En La Universidad Peruana Unión,» *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, vol. 9, nº 8, pp. 53 - 65.
- [59] L. Quispe y J. Arias, «Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimenta,» *Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, vol. 3, nº 1, pp. 79 - 93, 2017.

- [60] I. Barbaro, M. Karlianan y D. Mata, «Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para planta,» *Agronomo* , 2018 .
- [61] M. Jaramillo y E. Flores, «Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales lemna minor (lenteja de agua) y Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera»,» 2010. [En línea]. Available: file:///C:/Users/eva/Downloads/UPS-CT002482%20(4).pdf.
- [62] C. Caldelas, T. Iglesia, J. Araus, A. Febrero y J. Bort, «Bort «Efecto combinado del  $HgCl_2$  y el  $KNO_3$  sobre la extracción de mercurio y la composición elemental del Jacinto de agua»,» *REDISA* .
- [63] D. Noguera, N. Molina, Z. Bocanegra, M. Salazar, Bort « BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL: FITORREMEDIACIÓN: Un Método Para Tratamiento De Los Vertimientos Provenientes De Los Restaurantes Del Corregimiento De Cabrera – Municipio De Pasto,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.slideshare.net/zrcv1978/wiki-5-biotecnologia-ambiental-ppt-75447028>

## ANEXOS

**Anexos A.** Soporte de resultado de Laboratorio de análisis de agua y alimento de la Universidad Tecnológica de Pereira.

 <p style="margin: 0;">Universidad Tecnológica de Pereira</p>	<p style="margin: 0;">VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES INNOVACION Y EXTENSION LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS INFORME DE ENSAYOS No 2246/19</p>	<table border="1" style="border-collapse: collapse; font-size: small;"> <tr><td>Control:</td><td>1121-04-190</td></tr> <tr><td>Recibido:</td><td>1</td></tr> <tr><td>Fecha:</td><td>2019-11-21</td></tr> <tr><td>Página:</td><td>1 de 3</td></tr> </table>	Control:	1121-04-190	Recibido:	1	Fecha:	2019-11-21	Página:	1 de 3		
Control:	1121-04-190											
Recibido:	1											
Fecha:	2019-11-21											
Página:	1 de 3											
<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <th colspan="3">Fecha Edición</th> <th>Cotización Aprobada No.</th> </tr> <tr> <th>AÑO</th> <th>MES</th> <th>DÍA</th> <td rowspan="2" style="text-align: center;">1622/19</td> </tr> <tr> <td>2019</td> <td>11</td> <td>29</td> </tr> </table>		Fecha Edición			Cotización Aprobada No.	AÑO	MES	DÍA	1622/19	2019	11	29
Fecha Edición			Cotización Aprobada No.									
AÑO	MES	DÍA	1622/19									
2019	11	29										
<b>INFORMACIÓN DEL CLIENTE</b>												
Razón Social:	CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA	Nit o C.C.:	891.501.766-6									
Solicitante:	Adriana Lorena Sánchez	Cargo:	Investigadora									
Dirección:	Calle 5 No 3-85	Teléfono/fax:	(2) 282 13 000									
Municipio/Departamento:	Popayán / Cauca	Correo electrónico:	carlos.torrado.c@uniatonoma.edu.co									
<b>INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>												
Fecha de recepción: 2019-11-01												
Tipo de muestra	Descripción	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno							
Agua Residual	Tratamiento: 1:1 ARFM/AN sin declarar toma de muestra puntual 50 % ARFM agua residual de entables mineros 50 % de AN agua residual sin declarar T° de recepción 5,4°C	N.R	N.R	Eva María Valencia Perleza- Kallca Flores Sisisterra	1361-1							
<b>OBSERVACIONES:</b>												
<b>RESULTADOS</b>												
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1361-1		Rango permitido:						
				Resultado	Utop							
2019-11-01	Nitrógeno Total	SM: 4500 – Norg C Semi-micro Kjeldahl	mg N-NH <sub>3</sub> / l	4,66	N.E	N.E						
	Fosforo Total	Fotométrico – Cloruro Estañoso	mg P / L	0,51	N.E	N.E						
2019-11-28	Mercurio Total	SM: 3112 – B Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,36	N.E	N.E						
Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risaralda-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio 8 Piso 1 y 2. Teléfonos: Telefonos: (57) (0) 322 5750 / 515 7437 / e-mail: lab@uniatonoma.edu.co												
RR: 891.460331 - 1 / Gálago Postal: 60800 / Correo Aéreo: 311 113 708 / Fax: 321 5286 / Dirección: Cra 27 No 10 - 02 Los Álamos - Pereira - Risaralda - Colombia / www.uniatonoma.edu.co Reconocida como Institución de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional 2011 - 2021												

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES  
 INNOVACION Y EXTENSION  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS  
 INFORME DE ENSAYOS No 2246/19

Código	123-UM-440
Versión	3
Fecha	2019-11-11
Página	2 de 2

Fecha de recepción: 2019-11-01					
Tipo de muestra	Descripción	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Tratamiento: 1:1 AREM/AN sin clorar toma de muestra puntual 75 % AREM agua residual de entables mineros 75 % de AN agua residual sin clorar T° de recepción 5,4°C	N.R	N.R	Eva María Valencia Perlaro- Katica Flores Sisterra	1361-2
<b>OBSERVACIONES:</b>					

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1361-2		Rango permitido:
				Resultado	Uesp	
2019-11-01	Nitrógeno Total	SM: 4500 – Norg C Semi-micro Kjeldahl	mg N-NH <sub>4</sub> / l	3,63	N.E	N.E
	Fósforo Total	SM: 4500 – PD Fotométrico – Cloruro Estañoso	mg P / l	0,37	N.E	N.E
2019-11-28	Mercurio Total	SM: 3112 – B Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / l	0,27	N.E	N.E

Fecha de recepción: 2019-11-01					
Tipo de muestra	Descripción	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Tratamiento No. 1 100% agua residual de entables mineros toma de muestra puntual T° de recepción 5,4°C	N.R	N.R	Eva María Valencia Perlaro- Katica Flores Sisterra	1361-3
<b>OBSERVACIONES:</b>					

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1361-3		Rango permitido:
				Resultado	Uesp	
2019-11-01	Nitrógeno Total	SM: 4500 – Norg C Semi-micro Kjeldahl	mg N-NH <sub>4</sub> / l	2,92	N.E	N.E
	Fósforo Total	SM: 4500 – PD Fotométrico – Cloruro Estañoso	mg P / l	0,35	N.E	N.E

Dirección: Cra 27 No 10-03 Los Álamos – Pveña Risaralda Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio B Pta 1 y 2  
 Teléfono: Telefonos: (57) (0) 321 6750 / 315 7487 / e-mail: labaguas@uniquindia.edu.co






Código	123-LAA-P40
Versión	1
Fecha	2019-02-11
Página	1 de 8

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1361-3		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2019-11-28	Mercurio Total	SM: 3112 – B Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,63	N.E	N.E

Elaboró: Betty P.

  
**OLGA INES VALLEJO V.**  
Profesional I  
Matrícula PQI-0172  
Revisó

  
**CARLOS HUMBERTO MONTOYA N.**  
Director de Laboratorio  
Matrícula PQI-0177  
Autorizó

**OBSERVACIONES:**

- El Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos-UTP está autorizado por el Ministerio de la Protección Social para realizar análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos al agua potable.
- Los métodos utilizados en la ejecución de los ensayos para los análisis de aguas, han sido tomados del Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 23 RD Edition 2017".
- Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de la información aquí contenida y de las muestras analizadas.
- Los ensayos fueron realizados en las instalaciones del laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos, bajo sus condiciones ambientales.
- Los resultados de este informe hacen referencia única y exclusivamente a las muestras analizadas.
- Los ensayos microbiológicos son realizados por un profesional en el área.
- El informe de ensayos no podrá ser reproducido totalmente excepto cuando se haya obtenido permiso por escrito del laboratorio.
- Cuando es responsabilidad del laboratorio realizar la toma de muestra (s), se sigue el instructivo de toma de muestras. Cuando el cliente es el que toma la (s) muestra (s), el laboratorio no se hace responsable de la información suministrada, por lo tanto, los resultados se aplican a la (s) muestra (s) conforme se recibieron.
- Luego de la entrega del Informe de Ensayos, existe un espacio de tiempo máximo de 15 días hábiles para la atención de reclamos.
- **ABREVIATURAS:** N.R: No reporta - N.E: No establecido - Rango Permitido: Valor permitido dependiendo del tipo de muestra y de acuerdo a las especificaciones de la normatividad para cada matriz - Uexp: Incertidumbre expandida.

----- FIN DEL INFORME -----

Fecha Edición			Cotización Aprobada No.
AÑO	MES	DÍA	1705/19
2019	11	29	

INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
Razón Social:	<b>CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA</b>	Nit o C.C.:	891.501.766-6
Solicitante:	Adriana Lorena Sánchez	Cargo:	Investigadora
Dirección:	Calle 5 No 3-85	Teléfono/Fax:	(2) 282 13 000
Municipio/Departamento:	Popayán / Cauca	Correo electrónico:	carlos.torraldo.c@uniauonomia.edu.co

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Fecha de recepción: 2019-11-07					
Tipo de muestra	Descripción	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Tratamiento No. 1 100% agua residual de entablas mineras toma de muestra puntual T° de recepción 7,3°C	N.R	N.R	Eva María Valencia Perlaza- Kalica Flores Sinisterra	1388-1
<b>OBSERVACIONES:</b>					

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1388-1		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2019-11-07	pH	SM: 4500 H <sup>+</sup> -B. Electrométrico	UNIDADES	7,55 (20,5°C)	N.R	N.E
2019-11-22	Conductividad [T°C]	SM: 2510-B. Método Electrométrico	µS/cm	821 (25°C)	± 0,9	N.E
2019-11-07	Turbiedad	SM: 2130 B. Metodo Nefelométrico	NTU	1866	N.R	N.E
2019-11-07	Nitrógeno Total	SM: 4500 -- Norg C Semi-micro Kjendahl	mg N-NH <sub>3</sub> / L	4,68	N.E	N.E
	Fosforo Total	SM: 4500 - PD Fotométrico - Cloruro Estañoso	mg P / L	3,0	N.E	N.E
2019-11-28	Mercurio Total	SM: 3112 - B Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,45	N.E	N.E

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES  
 INNOVACION Y EXTENSION  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS  
 INFORME DE ENSAYOS No 2247/19

Código	123-LAA-F40
Versión	1
Fecha	2019-02-11
Página	2 de 3


Fecha de recepción: 2019-11-07					
Tipo de muestra	Descripción	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Tratamiento No. 3 1:2 AREM/AN sin declarar toma de muestra puntual 25 % AREM agua residual de entables mineros 75 % de AN agua residual sin declarar T° de recepción 7,3°C	N.R.	N.R.	Eva María Valencia Perlaza- Kalica Flores Sinisterra	1388-2
<b>OBSERVACIONES:</b>					

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1388-2		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2019-11-07	Nitrógeno Total	SM: 4500 – Norg C Semi-micro Kjendahl	mg N-NH <sub>3</sub> / L	5,85	N.E	N.E
	Fosforo Total	SM: 4500 – PD Fotométrico – Cloruro Estañoso	mg P / L	2,78	N.E	N.E
2019-11-28	Mercurio Total	SM: 3112 – B Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,22	N.E	N.E

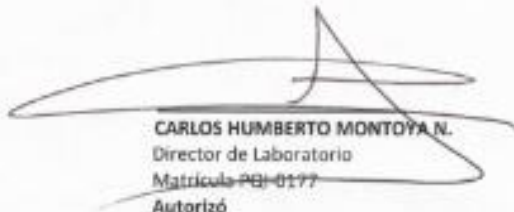
Fecha de recepción: 2019-11-07					
Tipo de muestra	Descripción	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Tratamiento No. 2 1:1 AREM/AN sin declarar toma de muestra puntual 50 % AREM agua residual de entables mineros 50 % de AN agua residual sin declarar T° de recepción 7,3°C	N.R.	N.R.	Eva María Valencia Perlaza- Kalica Flores Sinisterra	1388-3
<b>OBSERVACIONES:</b>					

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1361-3		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2019-11-28	Mercurio Total	SM; 3112 – B Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,63	N.E	N.E

Elaboró: Betty P.



**OLGA INES VALLEJO V.**  
Profesional I  
Matrícula PQI-0172  
Revisó



**CARLOS HUMBERTO MONTOYA N.**  
Director de Laboratorio  
Matrícula PQI-0177  
Autorizó

**OBSERVACIONES:**

- El Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos-UTP está autorizado por el Ministerio de la Protección Social para realizar análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos al agua potable.
- Los métodos utilizados en la ejecución de los ensayos para los análisis de aguas, han sido tomados del **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 23 RD Edition 2017"**.
- Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de la información aquí contenida y de las muestras analizadas.
- Los ensayos fueron realizados en las instalaciones del laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos, bajo sus condiciones ambientales.
- Los resultados de este informe hacen referencia única y exclusivamente a las muestras analizadas.
- Los ensayos microbiológicos son realizados por un profesional en el área.
- El informe de ensayos no podrá ser reproducido totalmente excepto cuando se haya obtenido permiso por escrito del laboratorio.
- Cuando es responsabilidad del laboratorio realizar la toma de muestra (s), se sigue el instructivo de toma de muestras. Cuando el cliente es el que toma la (s) muestra (s), el laboratorio no se hace responsable de la información suministrada; por lo tanto, los resultados se aplican a la (s) muestra (s) conforme se recibieron.
- Luego de la entrega del Informe de Ensayos, existe un espacio de tiempo máximo de 15 días hábiles para la atención de reclamos.
- **ABREVIATURAS:** N.R: No reporta - N.E: No establecido - Rango Permitido: Valor permitido dependiendo del tipo de muestra y de acuerdo a las especificaciones de la normatividad para cada matriz - Uexp: Incertidumbre expandida.

----- **FIN DEL INFORME** -----



Código	173-LAA-140
Versión	1
Fecha	2019-02-11
Página	1 de 8

Fecha Edición			Cotización Aprobada No.
AÑO	MES	DÍA	1685/19
2019	11	29	

INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
Razón Social:	<b>CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA</b>	Nit o C.C :	891.501.766-6
Solicitante:	Adriana Lorena Sánchez	Cargo:	Investigadora
Dirección:	Calle 5 No 3-85	Teléfono/Fax:	(2) 282 13 000
Municipio/Departamento:	Popayán / Cauca	Correo electrónico:	<a href="mailto:carlos.torrado.c@uniautonomadeuca.edu.co">carlos.torrado.c@uniautonomadeuca.edu.co</a>

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Fecha de recepción: 2019-11-06					
Tipo de muestra	Descripción	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Tratamiento: 1 100% Agua residual de entables mineros T° de recepción 5,9°C	N.R	N.R	Eva Maria Valencia Perlaza	1373-1
<b>OBSERVACIONES:</b>					

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1373-1		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2019-11-06	Nitrógeno Total	SM: 4500 – Norg C Semi-micro Kjendahl	mg N-NH <sub>4</sub> / L	5,17	N.E	N.E
2019-11-07	Fosforo Total	SM: 4500 – PD Fotométrico – Cloruro Estañoso	mg P / L	0,10	N.E	N.E
2019-11-28	Mercurio Total	SM: 3112 – B Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,36	N.E	N.E

**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES  
INNOVACION Y EXTENSION  
LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUAS Y AUMENTOS  
INFORME DE ENSAYOS No 2248/19**

Código	123456789
Versión	1
Fecha	2019-11-06
Página	3 de 3

Fecha de recepción: 2019-11-06					
Tipo de muestra	Descripción	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Tratamiento No. 2 1.1 AREM/AN sin decolorar 50% de AREM: Agua residual de entables mineros 50% de AN: Agua natural sin decolorar T° de recepción 5,9°C	N.R	N.R	Eva Maria Valencia Perla Katica Flores Sisterra	1373-2
<b>OBSERVACIONES:</b>					

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1373-2		Rango permitido
				Resultado	Ueqp	
2019-11-06	Nitrógeno Total	SM: 4500 – Norg C Semi-micro Kjeldahl	mg N-NH <sub>3</sub> / L	4,34	N.E	N.E
2019-11-07	Fosforo Total	SM: 4500 – PD Fotométrico – Cloruro Estañoso	mg P / L	1,81	N.E	N.E
2019-11-28	Mercurio Total	SM: 3112 – B Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,23	N.E	N.E

Fecha de recepción: 2019-11-06					
Tipo de muestra	Descripción	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Tratamiento No. 3 1.2 AREM/AN sin decolorar 75% de AREM: Agua residual de entables mineros 25% de AN: Agua natural sin decolorar T° de recepción 5,9°C	N.R	N.R	Eva Maria Valencia Perla Katica Flores Sisterra	1351-3
<b>OBSERVACIONES:</b>					

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1373-3		Rango permitido
				Resultado	Ueqp	
2019-11-06	Nitrógeno Total	SM: 4500 – Norg C Semi-micro Kjeldahl	mg N-NH <sub>3</sub> / L	3,32	N.E	N.E
2019-11-07	Fosforo Total	SM: 4500 – PD Fotométrico – Cloruro Estañoso	mg P / L	1,03	N.E	N.E

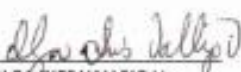
Dirección: Cra 27 No 10-02 Las Ánimas – Pereira-Risaralda-Colombia; Laboratorio de Análisis de Aguas y Aliviastos Edificio 8 Pao 1 y 2.  
Teléfono: Telefax: (57) (0) 311 3750 / 311 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES  
 INNOVACION Y EXTENSION  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS  
 INFORME DE ENSAYOS No 2248/19

Código	123-IAA-141
Versión	1
Fecha	2019-02-11
Página	3 de 3

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1373-3		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2019-11-28	Mercurio Total	SM: 3112 – B Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,21	N.E	N.E

Elaboró: Betty P.

  
 OLGA INES VALLEJO V.  
 Profesional I  
 Matrícula PQI-0172  
 Revisó

  
 CARLOS HUMBERTO MONTOYA N.  
 Director de Laboratorio  
 Matrícula PQI-0177  
 Autorizó

**OBSERVACIONES:**

- El Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos-UTP está autorizado por el Ministerio de la Protección Social para realizar análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos al agua potable.
- Los métodos utilizados en la ejecución de los ensayos para los análisis de aguas, han sido tomados del Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 23 RD Edition 2017".
- Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de la información aquí contenida y de las muestras analizadas.
- Los ensayos fueron realizados en las instalaciones del laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos, bajo sus condiciones ambientales.
- Los resultados de este informe hacen referencia única y exclusivamente a las muestras analizadas.
- Los ensayos microbiológicos son realizados por un profesional en el área.
- El informe de ensayos no podrá ser reproducido totalmente excepto cuando se haya obtenido permiso por escrito del laboratorio.
- Cuando es responsabilidad del laboratorio realizar la toma de muestra (s), se sigue el instructivo de toma de muestras. Cuando el cliente es el que toma la (s) muestra (s), el laboratorio no se hace responsable de la información suministrada; por lo tanto, los resultados se aplican a la (s) muestra (s) conforme se recibieron.
- Luego de la entrega del Informe de Ensayos, existe un espacio de tiempo máximo de 15 días hábiles para la atención de reclamos.
- **ABREVIATURAS:** N.R: No reporta - N.E: No establecido - Rango Permitido: Valor permitido dependiendo del tipo de muestra y de acuerdo a las especificaciones de la normatividad para cada matriz - Uexp: Incertidumbre expandida.

----- FIN DEL INFORME -----

## Anexos B. Soporte resultados de Mercurio en planta del ingeniería y laboratorio de Análisis ambiental

Viernes 22 de Noviembre del 2019

### CERTIFICADO DE ANALISIS

VERSION No. 00

No. O.T. 0006902  
 Cliente: 1061811464 EVA MARIA VALENCIA PERLAZA  
 Dirección: CALLE 3 # 0-90  
 Ordenador: EVA MARIA VALENCIA PERLAZA  
 Teléfonos: xxxxxx  
 E-mail: eva.valencia.p@uniautonomo.edu.co



Página 1 de 1

<b>Lugar Muestreo:</b>	TRATAMIENTO N. 2: PLANTA 1.1			
<b>Muestra:</b>	OTROS			
<b>Datos de la Muestra:</b>	BUCHON DE AGUA - F.M 5/11/2019			
<b>Muestreador:</b>	EL CLIENTE			
<b>Empaque:</b>	BOLSA SELLOPACK			
<b>Fecha Recepción:</b>	Martes 5 de Noviembre del 2019			
<b>Fecha Ensayo desde:</b>	Martes 5 de Noviembre del 2019	<b>Hasta:</b>	Miércoles 20 de Noviembre del 2019	
<b>Norma</b>	OTROS		<b>Para Muestra Codificada</b>	OTROS

<i>Análisis</i>	<i>Método</i>	<i>Resultado</i>	<i>Expresado En</i>	<i>Parametro comparación</i>
MERCURIO	EPA 7471B	<0.005	mg/Kg	

(●) Análisis Subcontratado (▲) Análisis Acreditado

Viernes 22 de Noviembre del 2019

### CERTIFICADO DE ANALISIS

VERSION No. 00

No. O.T. 0006903  
 Cliente: 1061811464 EVA MARIA VALENCIA PERLAZA  
 Dirección: CALLE 3 # 0-90  
 Ordenador: EVA MARIA VALENCIA PERLAZA  
 Teléfonos: xxxxxx  
 E-mail: eva.valencia.p@uniautonomo.edu.co



Página 1 de 1

<b>Lugar Muestreo:</b>	TRATAMIENTO N.3 PLANTA 1.2			
<b>Muestra:</b>	OTROS			
<b>Datos de la Muestra:</b>	BUCHON DE AGUA			
<b>Muestreador:</b>	EL CLIENTE			
<b>Empaque:</b>	BOLSA SELLOPACK			
<b>Fecha Recepción:</b>	Martes 5 de Noviembre del 2019			
<b>Fecha Ensayo desde:</b>	Martes 5 de Noviembre del 2019	<b>Hasta:</b>	Miércoles 20 de Noviembre del 2019	
<b>Norma</b>	OTROS		<b>Para Muestra Codificada</b>	OTROS

<i>Análisis</i>	<i>Método</i>	<i>Resultado</i>	<i>Expresado En</i>	<i>Parametro comparación</i>
MERCURIO	EPA 7471B	<0.005	mg/Kg	

(●) Análisis Subcontratado (▲) Análisis Acreditado



Viernes 22 de Noviembre del 2019

## CERTIFICADO DE ANALISIS

VERSION No. 00

No. O.T. 0006904  
Cliente: 1061811464 EVA MARIA VALENCIA PERLAZA  
Dirección: CALLE 3 # 0-90  
Ordenador: EVA MARIA VALENCIA PERLAZA  
Teléfonos: xxxxxx  
E-mail: eva.valencia.p@uniautonomo.edu.co



Página 1 de 1

<b>Lugar Muestreo:</b>	TRATAMIENTO N. 3 - PLANTA 1.2		
<b>Muestra:</b>	OTROS		
<b>Datos de la Muestra:</b>	BUCHON DE AGUA		
<b>Muestreador:</b>	EL CLIENTE		
<b>Empaque:</b>	BOLSA SELLOPACK		
<b>Fecha Recepción:</b>	Martes 5 de Noviembre del 2019		
<b>Fecha Ensayo desde:</b>	Martes 5 de Noviembre del 2019	<b>Hasta:</b>	Miércoles 20 de Noviembre del 2019
<b>Norma</b>	OTROS	<b>Para Muestra Codificada</b>	OTROS

<i>Análisis</i>	<i>Método</i>	<i>Resultado</i>	<i>Expresado En</i>	<i>Parametro comparación</i>
MERCURIO	EPA 7471B	<0.005	mg/Kg	

(●) Análisis Subcontratado (▲) Análisis Acreditado

Viernes 22 de Noviembre del 2019

## CERTIFICADO DE ANALISIS

VERSION No. 00

No. O.T. 0006975  
Cliente: 1061811464 EVA MARIA VALENCIA PERLAZA  
Dirección: CALLE 3 # 0-90  
Ordenador: EVA MARIA VALENCIA PERLAZA  
Teléfonos: xxxxxx  
E-mail: eva.valencia.p@uniautonomo.edu.co



Página 1 de 1

<b>Lugar Muestreo:</b>	TRATAMIENTO N.3 PLANTA 1.2 . AREMAN SIN DECLORAR		
<b>Muestra:</b>	OTROS		
<b>Datos de la Muestra:</b>	BUCHON DE AGUA		
<b>Muestreador:</b>	EL CLIENTE		
<b>Empaque:</b>	BOLSA SELLOPACK		
<b>Fecha Recepción:</b>	Jueves 7 de Noviembre del 2019		
<b>Fecha Ensayo desde:</b>	Jueves 7 de Noviembre del 2019	<b>Hasta:</b>	Miércoles 27 de Noviembre del 2019
<b>Norma</b>	OTROS	<b>Para Muestra Codificada</b>	OTROS

<i>Análisis</i>	<i>Método</i>	<i>Resultado</i>	<i>Expresado En</i>	<i>Parametro comparación</i>
MERCURIO	EPA 7471B	<0.005	mg/Kg	

(●) Análisis Subcontratado (▲) Análisis Acreditado

Viernes 22 de Noviembre del 2019

## CERTIFICADO DE ANALISIS

VERSION No. 00

No. O.T. 0006976  
Cliente: 1061811464 EVA MARIA VALENCIA PERLAZA  
Dirección: CALLE 3 # 0-90  
Ordenador: EVA MARIA VALENCIA PERLAZA  
Teléfonos: xxxxx  
E-mail: eva.valencia.p@uniautonoma.edu.co



Página 1 de 1

<b>Lugar Muestreo:</b>	TRATAMIENTO N. 1 PLANTAS 100% AGUA RESIDUAL DE ENTABLEROS MINEROS			
<b>Muestra:</b>	OTROS			
<b>Datos de la Muestra:</b>	BUCHON DE AGUA			
<b>Muestreador:</b>	EL CLIENTE			
<b>Empaque:</b>	BOLSA SELLOPACK			
<b>Fecha Recepción:</b>	Jueves 7 de Noviembre del 2019			
<b>Fecha Ensayo desde:</b>	Jueves 7 de Noviembre del 2019	<b>Hasta:</b>	Miércoles 27 de Noviembre del 2019	
<b>Norma</b>	OTROS	<b>Para Muestra Codificada</b>	OTROS	

<i>Análisis</i>	<i>Método</i>	<i>Resultado</i>	<i>Expresado En</i>	<i>Parametro comparación</i>
MERCURIO	EPA 7471B	<0.005	mg/Kg	

(●) Análisis Subcontratado (▲) Análisis Acreditado

Viernes 22 de Noviembre del 2019

## CERTIFICADO DE ANALISIS

VERSION No. 00

No. O.T. 0006977  
Cliente: 1061811464 EVA MARIA VALENCIA PERLAZA  
Dirección: CALLE 3 # 0-90  
Ordenador: EVA MARIA VALENCIA PERLAZA  
Teléfonos: xxxxx  
E-mail: eva.valencia.p@uniautonoma.edu.co



Página 1 de 1

<b>Lugar Muestreo:</b>	TRATAMIENTO N. 2 PLANTA - 1.1 AREMAN SIN DECLORAR			
<b>Muestra:</b>	OTROS			
<b>Datos de la Muestra:</b>	BUCHON DE AGUA			
<b>Muestreador:</b>	EL CLIENTE			
<b>Empaque:</b>	BOLSA SELLOPACK			
<b>Fecha Recepción:</b>	Jueves 7 de Noviembre del 2019			
<b>Fecha Ensayo desde:</b>	Jueves 7 de Noviembre del 2019	<b>Hasta:</b>	Miércoles 27 de Noviembre del 2019	
<b>Norma</b>	OTROS	<b>Para Muestra Codificada</b>	OTROS	

<i>Análisis</i>	<i>Método</i>	<i>Resultado</i>	<i>Expresado En</i>	<i>Parametro comparación</i>
MERCURIO	EPA 7471B	<0.005	mg/Kg	

(●) Análisis Subcontratado (▲) Análisis Acreditado

### Anexos C. Cuadro de registro de los Parámetros fisicoquímicos

Bloque 1							
Hora	Muestra	Conductividad(US)	Turbidez(NTU)	Ph	OD(mg/L)	STD	Temperatura(°C)
0	control	46.6	9.80	5.739	3.86		23
	100g	1000	44.8	6.647	3.50		23
	50g	105.8	179	6.368	3.61		22.7
	25g	156.6	98	6.499	3.09		22.6
24	control	0	3.0	6.227	3.26		22.0
	100g	0.6	17.2	7.176	1.64		21.8
	50g	0.3	24.1	6.992	0.54		22.0
	25g	0.1	25.0	7.023	2.40		22.0
48	control	0	15.2	6.268	3.80		22.2
	100g	0.7	92.6	7.288	1.75		21.9
	50g	0.4	81.7	7.098	1.20		21.9
	25g	0.1	69.1	7.093	2.91		22.0
72	control	0.1	62.1	6.59	3.58		23.2
	100g	0	87.2	7.38	1.65		22.8
	50g	0.3	126	7.34	1.55		22.7
	25g	0	151	7.31	3.15		22.8
96	control	0.1	8.38	6.84	3.46		22.1
	100g	0.5	8.67	7.51	2.42		22.0
	50g	0.4	16.5	7.44	1.75		22.0
	25g	0.3	14.8	7.43	3.34		22.1

	DQO(mg/L O2)	Nitritos (NO2-)(mg/L)	Nitratos (No3)(mg/L)	Amonio (NH3+)	Fosfato (PO4-3)
0 Horas	0	0.02	4.2	0.2	3.2
	6,5	0.08	14.9	0.2	3.7
	0,6	0.11	11.1	0.1	2.1
	2,1	0.05	11.3	0.1	1.8
96 Horas	6.76	0.30	1.1	0.1	2.5
	109	>0.50	6.9	0.1	> 5.0
	125	>0.50	5.1	0.1	4.8
	133	0.43	2.3	0.1	2.9

**Anexos D.** Morfología, adaptabilidad y supervivencia de la especie *Eichhornia crassipes*.

<b>1. Caracterización morfológica del buchón</b>				
Bloque 1				
Hora	concentración	Hoja	Tallo	Raíz
0	control	normal	normal	normal
	100g	normal	normal	normal
	50g	normal	normal	normal
	25g			
Hora	concentración	Hoja	Tallo	Raíz
24	control	normal	normal	normal
	100g	normal	normal	normal
	50g	normal	normal	normal
	25g	normal	normal	normal
Hora	concentración	Hoja	Tallo	Raíz
48	control	1(machada)	normal	raíces nuevas
	100g	2 manchadas	normal	raíces nuevas
	50g	normal	normal	raíces nuevas
	25g	1 hoja amarilla	normal	raíces nuevas
Hora	concentración	Hoja	Tallo	Raíz
72	control	1 manchada	normal	raíces nuevas
	100 g	2 manchadas	normal	raíces nuevas
	50 g	normal	normal	raíces nuevas
	25 g	1 amarilla	normal	raíces nuevas
Hora	concentración	Hoja	Tallo	Raíz
96	control	3 hojas amarillas	normal	normal
	100 g	3 hojas amarillas	normal	normal
	50 g	2 hojas amarillas	normal	normal
	25 g	2 hojas amarillas	normal	normal

**Anexos E. Registro fotográfico**

**1. Recolección de la planta (Buchón de agua)**



*Fotografía 1. Lugar de recolección de la planta*



*Fotografía 2. recolección del Buchón*



*Fotografía 3. Quebrada nuevo Japón*



*Fotografía 4. Buchón de agua*

## 2. Adaptación de la planta *Eichhornia Crassipes* en condiciones *In vitro*.



Fotografía 5. Selección de la planta



Fotografía 6. Medición y peso de la planta



Fotografía 7. Distribución de planta por bloques



Fotografía 8. Bloque 1, 2 y 3.

### 3. Exposición de las plantas al agua residual minera



*Fotografía 9. Agua residual minera*



*Fotografía 10. Disolución del efluente*



Fotografía 11. Nutriente (Lombricompost) para el efluente

4. Bloques aleatorizados con efluente y nutrientes



Fotografía 12. Bloque 1



Fotografía 13. Bloque 2



Fotografía 14. Bloque 3





Fotografía 15. Rotulación para análisis de Hg en agua



Fotografía 16. Rotulación para análisis de Hg en plantas