



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA AMBIENTAL**

Determinación de efectividad de la absorción de cadmio y cobre por acción de *Lemna minor* en el Tragadero Yacuchingana

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Ambiental**

**AUTOR:**

Montenegro Villalobos, Juan Fernando (ORCID: 0000-0002-9002-3083)

**ASESOR:**

Dr. Ponce Ayala, Jose Elias (ORCID: 0000-0002-0190-3143)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y gestión de los recursos naturales

**CHICLAYO – PERÚ**

**2021**

## **Dedicatoria**

Dedico esta investigación a Dios, por darme la vida y permitirme adquirir nuevos conocimientos y poder cumplir con mis objetivos.

A Fernanda Valentina Montenegro Vásquez, que fue mi razón para salir adelante y no desmayar en el camino y concluir esta investigación.

A mi madre y abuela, por creer en mí, por nunca dejarme solo, por su aliento incondicional, por ser muy luchadoras y sobre todo por guiarme por el sendero de la verdad.

A mi padre, por ser un gran ejemplo de trabajo y de perseverancia.

Y a todos mis familiares que me apoyaron a realizar esta investigación.

***Juan Fernando***

## **Agradecimiento**

A mi familia, como agradecimiento a su apoyo incondicional, por siempre estar conmigo en las buenas y malas y por demostrarme la gran fe que tienen en mí.

Al Ing. José Ponce Ayala por encaminar mis ideas, lo cual ha sido una contribución incalculable en el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Michel Gómez Cornejo por su aporte y su apoyo constante en el desarrollo de esta tesis.

A la Ing. Betty Esperanza Flores Mino por su apoyo constante y así poder concluir satisfactoriamente este trabajo de investigación.

A la Universidad César Vallejo por brindarme la oportunidad de ascender un peldaño más en el campo del conocimiento y en mi vida profesional.

***Juan Fernando***

## Índice de contenidos

|   |           |
|---|-----------|
| Carátula.....   | i         |
| Dedicatoria .....   | ii        |
| Agradecimiento .....                                      | iii       |
| Índice de contenidos .....                                | iv        |
| Índice de tablas .....                                    | v         |
| Índice de figuras .....                                   | vi        |
| Resumen.....  | vii       |
| Abstract.....   | viii      |
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>                               | <b>1</b>  |
| <b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>                             | <b>3</b>  |
| <b>III. METODOLOGÍA.....</b>                              | <b>9</b>  |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación .....                 | 9         |
| 3.2. Variables y operacionalización.....                  | 9         |
| 3.3. Población muestra y muestreo.....                    | 9         |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 10        |
| 3.5. Procedimientos .....                                 | 11        |
| 3.6. Método de análisis de datos.....                     | 13        |
| 3.7. Aspectos éticos .....                                | 13        |
| <b>IV. RESULTADOS .....</b>                               | <b>14</b> |
| <b>V. DISCUSIÓN.....</b>                                  | <b>23</b> |
| <b>VI. CONCLUSIONES.....</b>                              | <b>25</b> |
| <b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>                          | <b>26</b> |
| <b>REFERENCIAS.....</b>                                   | <b>27</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>  | <b>32</b> |

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1:</b> <i>Clasificación de la macrófita Lemna minor</i> .....  | 8  |
| <b>Tabla 2:</b> <i>Concentración inicial de cadmio y cobre y parámetros físico químicos</i> .   | 14 |
| <b>Tabla 3:</b> <i>Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 7 días de incorporación de Lemna minor</i> .....      | 14 |
| <b>Tabla 4:</b> <i>Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 14 días de incorporación de Lemna minor</i> .....     | 16 |
| <b>Tabla 5:</b> <i>Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 21 días de incorporación de Lemna minor</i> .....     | 17 |
| <b>Tabla 6:</b> <i>Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 28 días de incorporación de Lemna minor</i> .....     | 18 |
| <b>Tabla 7:</b> <i>Determinación de la mayor absorción de cadmio en los cuatro tiempos de incorporación de Lemna minor</i> .....            | 19 |
| <b>Tabla 8:</b> <i>Determinación de la mayor absorción de cobre en los cuatro tiempos de incorporación de Lemna minor</i> .....             | 20 |
| <b>Tabla 9:</b> <i>Evaluación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los cuatro tiempos de incorporación de Lemna minor</i> ..... | 22 |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| <i>Figura 1:</i> Morfología de Lemna minor. ....  | 8  |
| <i>Figura 2:</i> Flujograma .....   | 12 |
| <i>Figura 3:</i> Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 7 días de incorporación de <i>Lemna minor</i> ..... | 15 |
| <i>Figura 4:</i> Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 14 días de incorporación de Lemna minor .....       | 16 |
| <i>Figura 5:</i> Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 21 días de incorporación de Lemna minor .....       | 17 |
| <i>Figura 6:</i> Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 28 días de incorporación de Lemna minor .....       | 18 |
| <i>Figura 7:</i> Determinación de la mayor absorción de cadmio en los cuatro tiempos de incorporación de Lemna minor .....              | 20 |
| <i>Figura 8:</i> Determinación de la mayor absorción de cobre en los cuatro tiempos de incorporación de Lemna minor .....               | 21 |

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo general determinar la efectividad de la absorción de cadmio y cobre por acción de *Lemna minor* en el Tragadero Yacuchingana, para realizar la investigación se adaptó a la especie *Lemna minor* a una temperatura entre los 18 a 30 ° C, para la resistencia de *Lemna minor* se dispuso un acuario de 40 litros de agua residual con cadmio y cobre del Tragadero Yacuchingana, donde se aplicó la macrófita. Tuvo un tiempo de incorporación de 7, 14, 21 y 28 días de la macrófita. Para determinar concentraciones se utilizó el método de la espectrofotometría de absorción atómica por flama.

Se obtuvo los siguientes resultados de absorción de cadmio y cobre: 64.28 % y 30.00 % a los 7 días; 80.36 % y 46.42 % a los 14 días; 96.96 % y 82.14 % a los 21 días; 99.21 % y 93.21 % a los 28 días respectivamente, se determinó la efectividad de absorción de la especie *Lemna minor* en un tiempo de incorporación de 21 días, obteniendo en cadmio y cobre un 99.21 % y 93.21 % respectivamente, se determina una mayor efectividad en el metal cadmio al obtener un 99.21 % de absorción.

**Palabras clave:** *Lemna minor*, efectividad de absorción, cadmio, cobre.

## Abstract

The general objective of this research was to determine the efficiency of the absorption of cadmium and copper by the action of *Lemna minor* in the Tragadero Yacuchingana, to carry out the research, the *Lemna minor* species was adapted at a temperature between 18 to 30 °C, for the resistance of *Lemna minor*, an aquarium of 40 liters of residual water with cadmium and copper from Tragadero Yacuchingana was arranged, where the macrophyte was applied. It had an incorporation time of 7, 14, 21 and 28 days of the macrophyte. To determine concentrations, the flame atomic absorption spectrophotometry method was obtained.

The following cadmium and copper absorption results were obtained: 64.28% and 30.00% at 7 days; 80.36% and 46.42% at 14 days; 96.96% and 82.14% at 21 days; 99.21% and 93.21% at 28 days respectively, the absorption effectiveness of the *Lemna minor* species is improved in an incorporation time of 21 days, obtaining 99.21% and 93.21% respectively in cadmium and copper, a greater effectiveness in cadmium metal by obtaining 99.21% absorption.

**Keywords:** *Lemna minor*, adsorption effectiveness, cadmium, copper.



## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las actividades generadas por el hombre están provocando un daño irreversible en el ambiente, ocasionando daños en los ecosistemas y en el bienestar humano; las actividades domésticas, mineras e industriales son principales fuentes de contaminación al medio ambiente a través de la generación y producción de residuos que son depositados en los cuerpos receptores de agua y suelo. Estos efluentes no reciben ningún tratamiento y siguen depositados en ríos, arroyos o tragaderos.

El nivel de contaminación y concentración de los metales dependerá de la cantidad o porcentaje de metales emitidos hacia el ambiente, ocasionando un problema grave en la salud humana y deterioro de los ecosistemas, causando daños irreversibles. Los problemas de estos impactos provocan problemas sociales, pérdidas económicas y ambientales, llevando a protestas a los individuos que se ven directamente afectados.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2012), define que el recurso hídrico es la fuente principal para sobrevivir, así mismo es un recurso esencial para la mayoría de especies con el fin que puedan desarrollar sus actividades, el recurso hídrico se ve amenazada por el vertimiento de efluentes de las siguientes actividades: minero, agrícola, industrial y consumo doméstico; lo cual genera un mayor aumento de liberación de efluentes, provocando un nivel alto de contaminación.

A través de la clasificación de la fitorremediación se menciona a la rizofiltración, la cual mediante sus raíces tiene la capacidad de acumular, remover, reducir cuerpos superficiales y efluentes que provienen de diferentes fuentes que contengan metales pesados, toxinas, etc. Este método o tratamiento es económico ya que las especies encargadas de realizar el proceso de fitorremediación se encuentran en el ambiente, las cuales se desarrollan en buenas condiciones de temperaturas y ecosistemas. (Guevara, De la Torre y Villegas, 2009).

Las macrófitas se encuentran sobre la superficie del agua (flotantes o sumergidas), ubicadas en ríos, arroyos, lagos y embalses, se menciona a *Lemna minor* como una macrófita flotante la cual es una especie hiperacumuladora que tiene la capacidad de remover, acumular, absorber y transportar los metales pesados o elementos tóxicos a toda su estructura. (Caviedes y Ricardo, 2016).

Teniendo conocimiento de este problema tan grave que afecta a la salud de los seres vivos y los cuerpos superficiales de agua, ocasionando impactos muy elevados en todo cuerpo receptor generado por efluentes contaminados por metales pesados, además tenemos que tener en cuenta que las aguas residuales domésticas, industriales y de minería no tienen ningún tipo de tratamiento para minimizar el nivel de contaminación presente en los cuerpos de agua nos formulamos el siguiente problema: ¿Cuál será el porcentaje de efectividad de absorción de cadmio y cobre en las aguas residuales del Tragadero Yacuchingana por acción de *Lemna minor*?

La presente investigación tiene como finalidad aplicar un método o tratamiento para reducir la concentración de contaminación en un cuerpo receptor de agua, teniendo como hipótesis que el porcentaje de efectividad de absorción de cadmio con *Lemna minor* en el Tragadero Yacuchingana será mayor en el cobre ; como objetivo general determinar la efectividad de la absorción de cadmio y cobre por acción de *Lemna minor* en el Tragadero Yacuchingana, la especie *Lemna minor* es una macrófita flotante que tiene la capacidad fitorremediadora de absorber, eliminar y reducir niveles altos de contaminación de metales pesados en los cuerpos receptores de agua, existen diferentes investigaciones donde mencionan la gran capacidad de la especie *Lemna minor* para el tratamiento de aguas residuales, como objetivos específicos tenemos, precisar la concentración inicial de cadmio y cobre en el Tragadero Yacuchingana, precisar el porcentaje de absorción de cadmio por acción de *Lemna minor*, precisar el porcentaje de absorción de cobre por acción de *Lemna minor* y realizar la comparación de mayor absorción en cadmio y cobre por acción de *Lemna minor*.

## II. MARCO TEÓRICO

Según Sandoval (2019) tiene como objetivo principal determinar el porcentaje de efectividad de las especies (*Eichhornia crassipes*, *Lemna minor*) para la absorción de cadmio. Se utilizaron dos módulos con concentración de 2 mg/l para evaluar la eficacia de las dos macrófitas en la absorción de cadmio. La especie *Eichhornia crassipes* estuvo en el primer módulo y la especie *Lemna minor* en el segundo módulo.

Se trabajó en un tiempo de 11 días con un muestreo de análisis cada 2 días, teniendo la evaluación de parámetros físicos: conductividad eléctrica, temperatura, pH temperatura y el nivel de concentraciones de cadmio. Finalmente, se concluye que la especie *Eichhornia crassipes* posee un porcentaje más que *Lemna minor* L (83.57 % - 39.35 %.)

Según Valencia (2017) indica que la evaluación de pH y el tiempo de proceso en el tratamiento de fitorremediación de metal noble Cu, en escala de laboratorio con la especie *Lemna minor*, con la finalidad de fitorremediar el agua del río Suro, la cual proviene de aguas residuales provenientes de una minería, a través de la fitorremediación y la macrófita; *Lemna minor* se busca reducir la concentración de cobre.

Se aplicó un diseño experimental bifactorial, donde se obtuvo una muestra de 80 litros del río Suro, para los respectivos análisis de determinación de cobre se empleó la técnica de espectrometría de absorción atómica de flama. Finalmente, la especie *Lemna minor* llegó a remover un 97,4 % y 99,8 % a un pH 6 a los 10 y 15 días de iniciado el tratamiento del agua del río Suro.

Según Jaramillo y Flores (2012) indica determinar el porcentaje de absorción del Hg mediante las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, las condiciones se evaluaron en doce recipientes con nueve litros más un litro de la disolución de mercurio.

Se realizaron tres tratamientos: A (*Eichornia crassipes*), B (*Lemna minor*) y C (*Eichornia crassipes* - *Lemna minor*) con cuatro repeticiones cada uno, en un tiempo de 15 días. En el proceso se observó que a partir del día 5 las macrófitas tuvieron cambios en su estructura, *Eichornia crassipes* manifestó necrosis en sus hojas y *Lemna minor* manifestó clorosis. Finalmente, las especies presentaron una eficiencia de absorción del 29,5 % en un tiempo de 7 días, también se determinó que la macrófita *Eichornia crassipes* tuvo un nivel alto de absorción de mercurio.

Según Arenas, Merú y Torres (2011) en su artículo, define la evaluación del *Lemna minor* con su capacidad de fitorremediación en aguas contaminadas por Hg, el diseño experimental posee cinco repeticiones con tres bloques, un grupo experimental con 100 g de *Lemna minor* en 7,5 L de agua contaminada con Hg (0,13 mg L<sup>-1</sup>); un grupo Testigo con 100 g de *Lemna minor*, 7,5 L de agua y un grupo control con mercurio al nivel de 0,13 mg/L<sup>-1</sup> en agua destilada sin plantas. En un tiempo de 22 días la especie *Lemna minor* tuvo una absorción del 30 % de mercurio, en cuanto a la remoción de potasio, el nivel de remoción fue afectado por las concentraciones de mercurio. Finalmente, la macrófita *Lemna minor* es una especie muy eficaz para la remoción y tratamiento de aguas contaminada por mercurio.

Según Bres, Crespo, Rizzo y La Rossa (2012) menciona la evaluación de *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* con la finalidad de remover níquel durante dos semanas, se realizaron cuatro tratamientos para cada especie, como primer paso las macrófitas tuvieron un proceso de incubación con las siguientes dosis de níquel: 0, 1, 3 y 6 mg l<sup>-1</sup> de Ni. Las macrófitas presentaron buenos resultados en todos los tratamientos al reducir níquel en el periodo indicado. Finalmente, la especie que fue más eficiente para la remoción de níquel fue *Lemna minor*.

Según Mera (2016) determinó la efectividad del uso de especies acuáticas (*Lemna spp* y *Eichhornia Crassipes*) en un ambiente contaminado con plomo a 5 ppm. La contaminación del agua fue a través de la aplicación de nitrato de plomo hasta obtener una concentración inicial de 5ppm.

Se trabajó con 3 tratamientos distintos: A (*Lemna spp*), B (*Eichhornia crassipes*) y C (*Lemna spp* y *Eichhornia crassipes*).

El segundo paso fue la intoxicación, en la cual se contaminaron los recipientes hasta llegar a la concentración de 5ppm. Como último paso fue la etapa de remoción del plomo con un periodo de 14 días, donde se controló la conductividad y el pH llegándose a notar cambios físicos en la planta, ocasionando clorosis y necrosis.

Finalmente, el tercer tratamiento C (*Lemna spp* y *Eichhornia crassipes*) fue el más efectivo teniendo como resultado un porcentaje de absorción del 77.8 %, donde se concluye que la combinación de *Eichhornia crassipes* y *Lemna spp* demuestran una eficacia al absorber plomo en medio contaminado.

En Colombia, durante el año 2013, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), tomaron en general 169 muestras de cadmio, cobre y níquel, los estudios obtenidos determinaron altos niveles de concentración de cadmio en 3 ríos, provocado por efluentes industriales, agrícolas y mineros.

En el año (2015) la Revista del Instituto de Investigación UNMSM, realizó un estudio para determinar metales pesados como: cadmio, plomo, arsénico y mercurio en los cuerpos de agua del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, encontrando valores altos de concentración de estos metales por el vertimiento de aguas residuales.

De acuerdo al nivel de toxicidad de los metales pesado se clasifica en: los elementos del primer grupo que de ser tóxicos pasan a superar ciertas concentraciones como es el caso del Cu, Zn y Cr<sup>+3</sup>.

Según Repetto y Sanz (2008) menciona al cobre como un metal no ferroso, la obtención del cobre es a partir de los sulfuros minerales, la utilidad o empleabilidad del cobre se da en diferentes sectores como: industrial, manufacturero y construcción; también en la aleación con el bronce: clavos, pernos, latón, tuberías, pinturas. Asimismo, el sulfato de cobre es utilizado en los pesticidas.

El exceso a la exposición de cobre puede causar problemas en la salud humana, como: irritación a la nariz, dolor de estómago, dolor de cabeza, diarreas y vómitos. Una concentración alta al ingerir cobre logra causar daño a los riñones y al hígado

e incluso la muerte. En cuanto a los animales y plantas cuando la concentración es alta causa intoxicación y en suelos causa infertilidad. (Lenntech, 2017).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2013) afirma que el uso de cadmio en sus procesos de elaboración para la obtención de productos de sectores: manufacturero, minero e industrial generen residuos de sus procesos los cuales sean vertidos como efluentes en redes de alcantarillado así mismo al estar expuesto a ello podrían generar daños muy severos en el sistema óseo, respiratorio y riñones.

Las plantas flotantes se caracterizan por presentar órganos superiores sobre el agua y presentan raíces que se adhieren al fondo del humedal, la lenteja de agua es considerada como una especie libre de flotación. (Núñez.et al., 2004).

Las plantas acuáticas utilizadas para tratamientos de aguas residuales deben de tener las siguientes características: nivel alto de productividad, eficiencia en la absorción de contaminantes, buenas condiciones naturales y una sencilla producción, la macrófita *Lemna minor* cumple con los requisitos y por ello es utilizada para descontaminar aguas residuales. (Arenas.et al., 2011).

La fitorremediación se define como la corrección o remediación de un daño o alteración utilizando plantas que tienen la función de metabolizar, estabilizar, absorber o acumular todo tipo de contaminante y poder retenerlos o fijarlos en sus tejidos. (Grijalbo, 2017).

Según (Dushenkov y Raskin, 1999) confirma que la absorción de metales se da a través de la raíz, de tal manera la especie ingiere sales inorgánicas, para luego movilizarlas a las hojas y al tallo.

A través del sistema radicular las macrófitas absorben a los contaminantes y la capacidad de acumulación dependerá del tipo del metal, para lograr una mayor absorción o remoción del metal también dependerá de la cantidad de biomasa de la especie a utilizar. (Fernández, 2004).

Las fitoquelatinas tienen la función de captar a los iones metálicos y separarlos del complejo del metal. Se encargan de trasladar los iones metales hacia los diferentes tejidos de la vacuola, permitiendo la síntesis y detoxificación de niveles altos de metales. (Zenk, 1996).

La quelación de metales es la capacidad de crear un complejo entre una molécula y un metal con la intención de crear un nuevo compuesto. Existe el proceso homeostático el cual forma parte de la quelación donde intervienen dos tipos de moléculas: los ligandos de alta afinidad ayudan a desintoxicar y estabilizar la concentración de iones de metales en el citosol y las moléculas transportadoras se encargan de trasladar los iones de los metales a vacuolas, mitocondrias y cloroplastos (Clemens, 2006).

Las metalotioneínas son proteínas con alto nivel de absorber iones metálicos evitando la intoxicación por metales. (Cobbett, 2002).

Según (Zayed, 1998) el cuerpo vegetativo de *Lemna minor* sobrevive en aguas eutrofizadas y es una planta hiperacumuladora, la cual presenta un alto potencial en la absorción de metales, la concentración alta del metal puede dañar la capacidad de fitoextracción de esta planta.

El nombre común de la especie *Lemna minor* es lenteja de agua, es una macrófita muy diminuta de estructura simple, no tiene tallo separado de las hojas, tiene una fusión entre ambos llamado fronda, (Fernández, 2009), tiene raíz única por fronde.

La especie lentejita de agua se localiza en: lagos, ríos y charcos de agua dulce; originalmente crece en aguas eutrofizadas, considerada como indicadora de la calidad del agua. (Mereles.et al., 2015).

**Tabla 1:** Clasificación de la macrófita *Lemna minor*

|          |               |
|----------|---------------|
| Reino    | Plantae       |
| División | Magnoliophyta |
| Clase    | Liliopsida    |
| Orden    | Alismatales   |
| Familia  | Arales        |
| Género   | Lemna L.      |
| Especie  | Minor         |

Fuente: Elaboración propia

Puede desarrollarse a una temperatura comprendida entre 5 °C – 30 °C, pero sus mejores rangos de temperatura comprenden entre los 15 y 18 °C. Tiene una adaptación de crecer en aguas ricas de nutrientes y a una condición de iluminación. (Jaramillo y Flores, 2012).

Para las plantas típicas su pH está comprendido entre 4,5 – 7,5; pero para la especie *Lemna minor* su pH mínimo y máximo es entre 4 y 10 respectivamente. (Castrillón y Navarro, 2016).

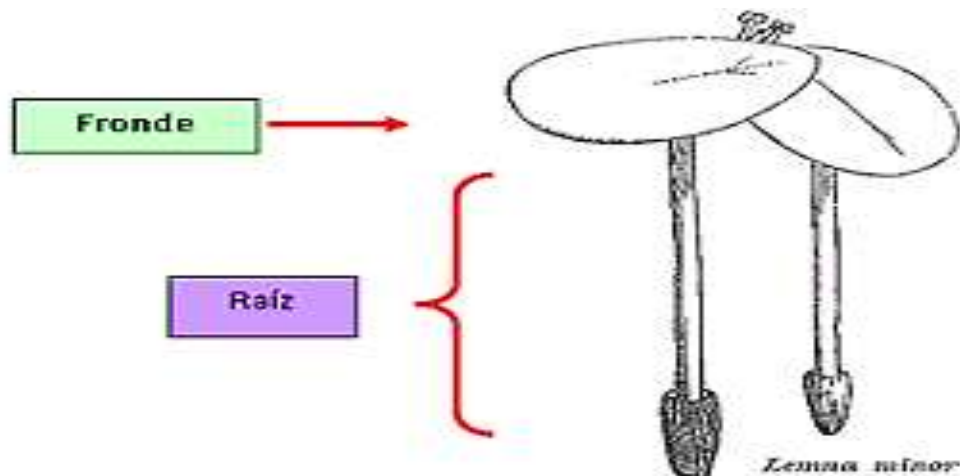


Figura 1: Morfología de *Lemna minor*.

Fuente: Elaboración propia



### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

**Tipo de investigación:** Aplicada.

Se define a la investigación aplicada como los hallazgos tecnológicos y la relación problema – sociedad. (Lozada ,2014)

**Diseño de investigación:** Cuasi - experimental.

Se define al trabajo cuasi experimental como la manipulación e interpretación de datos a partir de una observación minuciosa con el fin de poner en práctica el trabajo de investigación propuesto. (Hernández ,2017).

#### **3.2. Variables y operacionalización**

**Variable independiente:**

- Efectividad de *Lemna minor*

**Variable dependiente:**

- Absorción de cadmio y cobre

#### **3.3. Población muestra y muestreo**

**Población**

Agua residual del Tragadero Yacuchingana de la Provincia de Cutervo.  
(coordenadas)

**Muestra**

La muestra estuvo compuesta por 40 litros de agua residual del Tragadero Yacuchingana – Cutervo.

**Muestreo**

No probabilístico por conveniencia.

Es una técnica donde las muestras de la población se seleccionan por el motivo de disponibilidad del investigador, quiere decir un análisis de muestreo de una cierta cantidad de la población, se aplica esta técnica de muestreo por su velocidad, costo – efectividad y facilidad de disponibilidad de la muestra. (García, 2017).

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **Técnicas de recolección de datos**

Para la presente investigación se elaboraron fichas para establecer y determinar los resultados obtenidos, donde se realizó una investigación minuciosa y detallada.

#### **Técnica de campo**

Principalmente, se ubicó el Tragadero Yacuchingana, mediante puntos de georreferenciación. Identificando puntos críticos del Tragadero para realizar la toma de muestra, se almacenaron en recipientes asegurados y esterilizados con una capacidad de 20 litros, para evitar alguna contaminación.

#### **Fase preliminar**

Se evaluó la aclimatación del medio para el desarrollo de la investigación, los parámetros a evaluar fueron: temperatura, luz y ventilación. Las plantas de *Lemna minor* provienen del río Reque, fueron escogidas con la misma dimensión. El registro correspondiente se llevó a cabo en unas fichas técnicas.

#### **Primera fase**

Se visitó el Tragadero Yacuchingana para ejecutar la evaluación del agua, se evaluó la concentración inicial de cadmio y cobre. El agua recolectada fue dividida en un estanque con un volumen de 20 litros, seguidamente se agregó las macrófitas.

Se ejecutó una observación minuciosa para identificar la adaptación de la planta a su nuevo entorno, asimismo, las plagas y marchitamiento.

### **Segunda fase**

Se aplicó en el primer día y posteriormente cada 7 días por un tiempo de tratamiento de incorporación de 28 días el método de espectrofotometría de absorción atómica con flama (EAA), con la finalidad de determinar la efectividad de absorción de cadmio y cobre por acción de *Lemna minor* de las aguas residuales del Tragadero Yacuchingana.

Se realizaron hojas de cálculo en Excel para el registro de los resultados obtenidos en cada análisis.

### **Fase final**

Se agruparon las fichas con los resultados obtenidos en todas las fases anteriores, con la finalidad de validar nuestros datos.

### **Validez y confiabilidad**

Se utilizó el método de absorción atómica con el espectrofotómetro de absorción atómica con llama para precisar la absorción de cadmio y cobre en las aguas residuales del Tragadero Yacuchingana, el centro de laboratorio encargado para acreditar los resultados de cadmio y cobre fue por ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

## **3.5. Procedimientos**

### **Determinación de la concentración de cadmio y cobre**

Se aplicó el método de espectrofotometría de absorción atómica con flama (EAA), para establecer las concentraciones de cadmio y cobre por un periodo de 28 días.

Es un método utilizado para determinar el nivel de metales pesados en aguas superficiales, residuales e industriales con un rango de 0,025 a 3 mg/L, en el caso del cadmio y cobre se empleará el espectrofotómetro de norma

SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3111 D, 23rd. Para generar la combustión para generar la flama se usan y se emplea una curva de calibración, el equipo cuenta con una base de datos en la cual mecánicamente al introducir la curva y al evaluar las muestras dará como resultado el nivel de concentración del metal medido. (APHA, 1992).

### Instrumentos de recolección de datos

Se emplearon fichas de muestreo para la toma de datos

### Materiales de campo:

- Guardapolvo
- Guantes
- Galoneras
- Cámara fotográfica
- Mascarilla
- Agenda de puntas

### Elaboración de estanques de agua

Se colocó un estanque de agua hecho con vidrio, conteniendo la especie *Lemna minor*, el estanque conservó 40 litros de agua residual del Tragadero Yacuchingana.

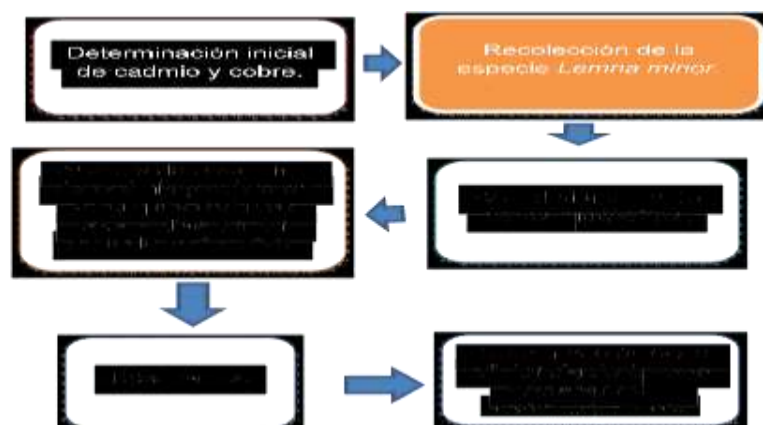


Figura 2: Flujograma

Fuente: Elaboración propia

### **3.6. Método de análisis de datos**

Los datos de nuestra investigación fueron procesados en la hoja de cálculo Excel, en la cual se elaboraron gráficos para ser interpretados, la ejecución del trabajo de investigación tuvo un tiempo de duración de cuatro meses.

### **3.7. Aspectos éticos**

Los datos y la información recopilada fue producto de investigación tanto virtual y física, todos mis datos son verdaderos, confiables y veraces los cuales dan una confiabilidad a mi presente investigación.

#### IV. RESULTADOS

##### 4.1. Determinación de la concentración inicial de cadmio y cobre y parámetros físico químicos.

La determinación inicial de metales presentes en el Tragadero Yacuchingana de cadmio fue de 2.80 mg Cd/L y la de cobre fue de 1.40 mg Cu/L, los cuales superaban los Límites Máximos Permisibles de 0.050 mg Cd/L y 0.030 mg Cu/L, asimismo se obtuvieron resultados de algunos análisis físico químicos, los cuales se analizaron en ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L., obteniéndose los siguientes resultados.

**Tabla 2:** *Concentración inicial de cadmio y cobre y parámetros físico químicos*

| <b>Parámetro</b>        | <b>Concentración inicial</b> | <b>Unidad</b> |
|-------------------------|------------------------------|---------------|
| Cadmio                  | 2.80                         | mg Cd/L       |
| Cobre                   | 1.40                         | mg Cu/L       |
| pH                      | 7.35                         | -             |
| Conductividad eléctrica | 3.183                        | S/m           |
| Turbidez                | 200                          | NTU           |
| Temperatura             | 23.20                        | °C            |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3:** *Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 7 días de incorporación de Lemna minor*

| <b>Tiempo de incorporación<br/><i>Lemna minor</i></b> | <b>Concentración inicial</b> | <b>Absorción de cadmio y cobre</b> | <b>% de efectividad</b> |
|---|------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 7 días  | 2.8 mgCd/L                   | 1 mgCd/L                           | 64.28 %                 |
|   | 1.4 mgCu/L                   | 0.98 mgCu/L                        | 30.00 %                 |

Fuente: Elaboración propia

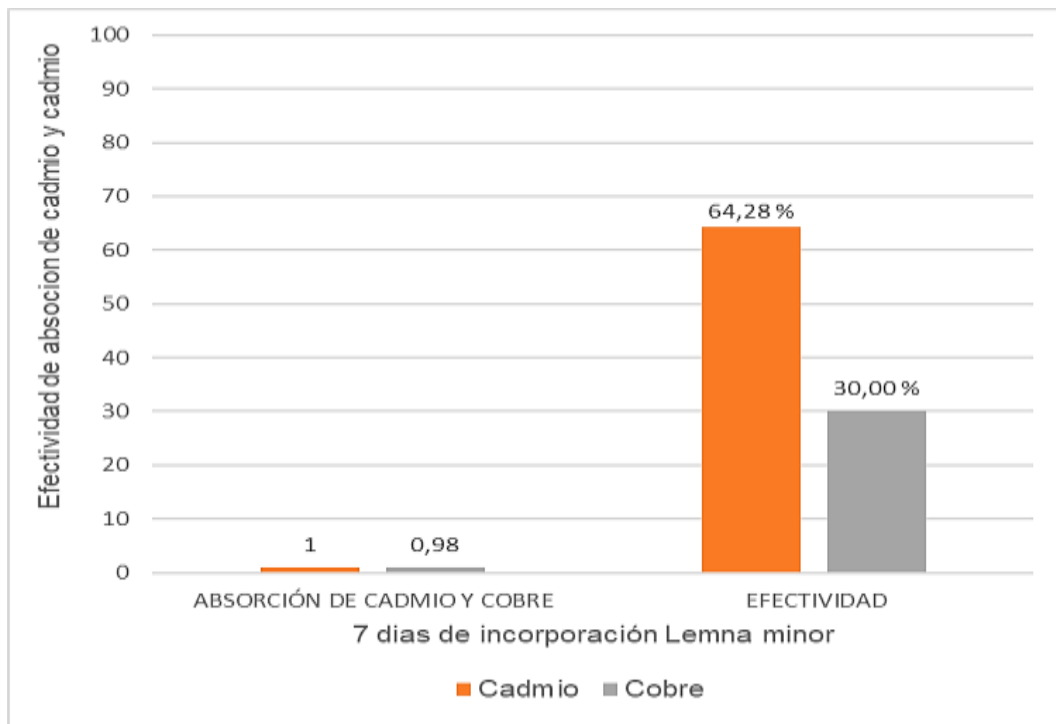


Figura 3: Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 7 días de incorporación de *Lemna minor*

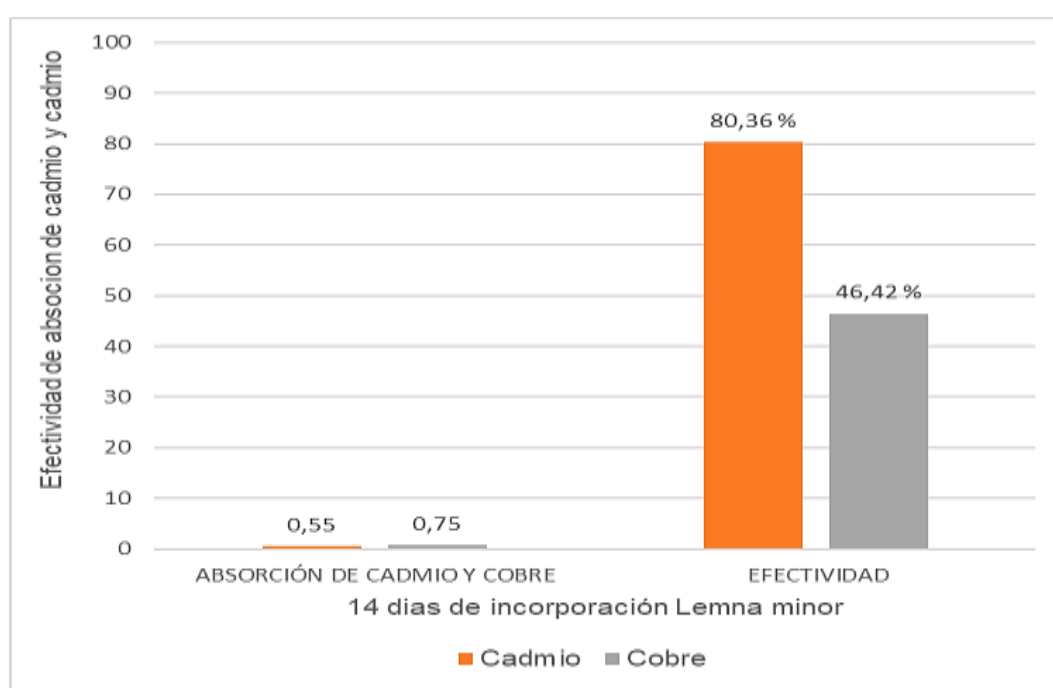
Fuente: Elaboración propia

Se observa en la figura 3 la efectividad de absorción cadmio y cobre a los 7 días de incorporación de la especie *Lemna minor*, se obtuvo en cadmio una absorción de 1mgCd/L, en la tabla 03 se observa una concentración inicial de 2.8 mgCd/L, finalmente se obtuvo un porcentaje de efectividad del 64.28 %, mientras que en cobre se obtuvo una absorción de 0.98 mgCu/L, en la tabla 03 se observa una concentración inicial de 1.4 mgCu/L, finalmente se obtuvo un porcentaje de efectividad del 30 %.

**Tabla 4:** Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 14 días de incorporación de *Lemna minor*

| Tiempo de incorporación <i>Lemna minor</i> | Concentración inicial | Absorción de cadmio y cobre | % de efectividad |
|--|-----------------------|-----------------------------|------------------|
| 14 días                                    | 2,8 mgCd/L            | 0.55 mgCd/L                 | 80.36 %          |
|  | 1.4 mgCu/L            | 0.75 mgCu/L                 | 46.42 %          |

Fuente: Elaboración propia



**Figura 4:** Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 14 días de incorporación de *Lemna minor*

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la figura 4 la efectividad de absorción cadmio y cobre a los 14 días de incorporación de la especie *Lemna minor*, se obtuvo en cadmio una absorción de 0.55 mgCd/L, en la tabla 04 se observa una concentración inicial de 2.8 mgCd/L, finalmente se obtuvo un porcentaje de efectividad del 80.36 %, mientras que en

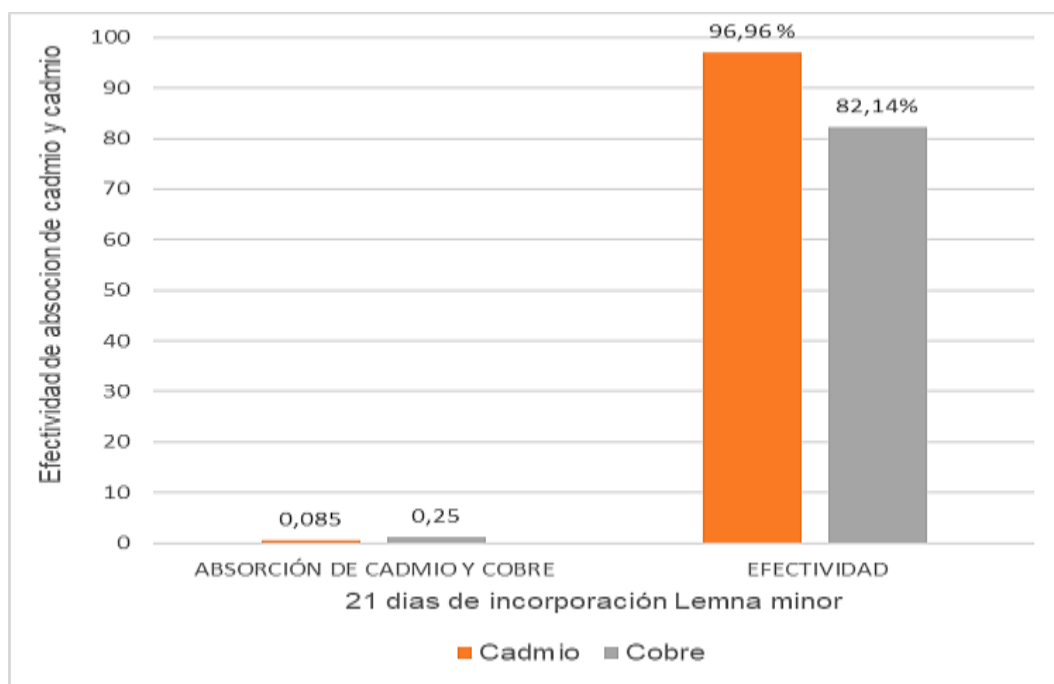


cobre se obtuvo una absorción de 0.75 mgCu/L, en la tabla 04 se observa una concentración inicial de 1.4 mgCu/L, finalmente se obtuvo un porcentaje de efectividad del 46.42 %.

**Tabla 5:** Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 21 días de incorporación de *Lemna minor*

| Tiempo de incorporación <i>Lemna minor</i> | Concentración inicial | Absorción de cadmio y cobre | % de efectividad |
|--|-----------------------|-----------------------------|------------------|
| 21 días                                    | 2.8 mgCd/L            | 0.085 mgCd/L                | 96.96 %          |
|  | 1.4 mgCu/L            | 0.25 mgCu/L                 | 82.14%           |

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5:** Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 21 días de incorporación de *Lemna minor*

Fuente: Elaboración propia

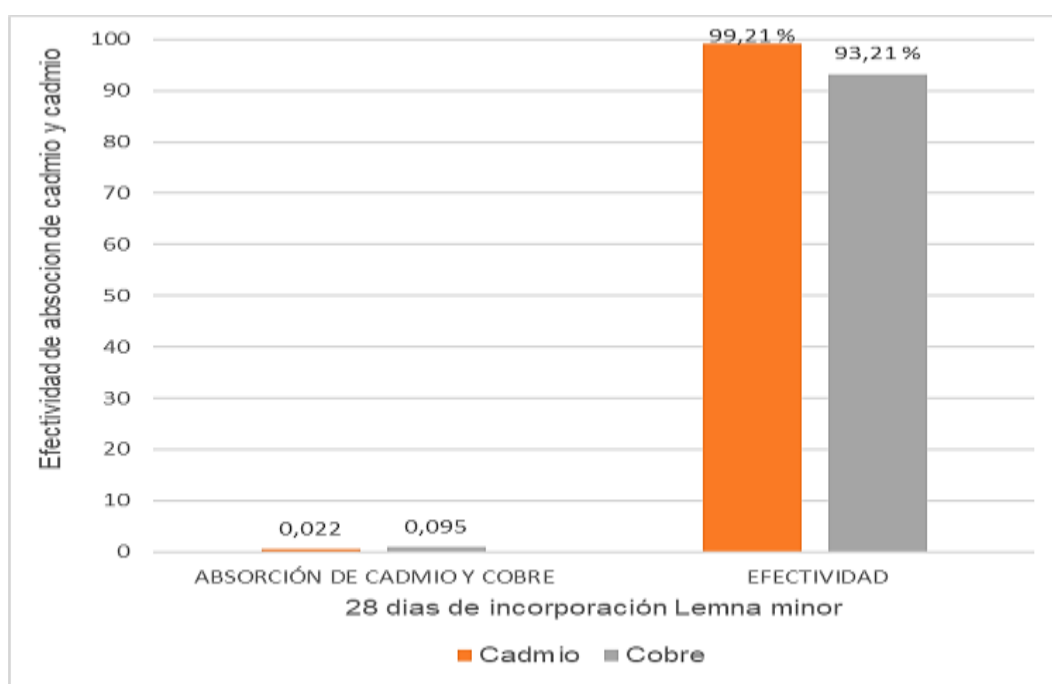
Se observa en la figura 5 la efectividad de absorción cadmio y cobre en los 21 días de incorporación de la especie *Lemna minor*, se obtuvo en cadmio una absorción de 0.085 mgCd/L, en la tabla 05 se observa una concentración inicial de 2.8

mgCd/L, finalmente se obtuvo un porcentaje de efectividad del 96.96 %, mientras que en cobre se obtuvo una absorción de 0.25 mgCu/L, en la tabla 05 se observa una concentración inicial de 1.4 mgCu/L, finalmente se obtuvo un porcentaje de efectividad del 82.14 %.

**Tabla 6:** *Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 28 días de incorporación de Lemna minor*

| Tiempo de incorporación <i>Lemna minor</i> | Concentración inicial | Absorción de cadmio y cobre | % de efectividad |
|--|-----------------------|-----------------------------|------------------|
| 28 días                                    | 2.8 mgCd/L            | 0.022 mgCd/L                | 99.21 %          |
|  | 1.4 mgCu/L            | 0.095 mgCu/L                | 93.21 %          |

Fuente: Elaboración propia



**Figura 6:** *Determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 28 días de incorporación de Lemna minor*

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la figura 6 la efectividad de absorción cadmio y cobre en los 28 días de incorporación de la especie *Lemna minor*, se obtuvo en cadmio una absorción de 0.022 mgCd/L, en la tabla 06 se observa una concentración inicial de 2.8 mgCd/L, finalmente se obtuvo un porcentaje de efectividad del 99.21 %, mientras que en cobre se obtuvo una absorción de 0.095 mgCu/L, en la tabla 06 se observa una concentración inicial de 1.4 mgCu/L, finalmente se obtuvo un porcentaje de efectividad del 93.21 %.

**Tabla 7:** *Determinación de la mayor absorción de cadmio en los cuatro tiempos de incorporación de Lemna minor*

| <b>Tiempo de incorporación<br/><i>Lemna minor</i></b> | <b>Concentración inicial</b> | <b>Absorción de cadmio</b> | <b>% de efectividad</b> |
|---|------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 7 días  | 2,8 mgCd/L                   | 1 mgCd/L                   | 64.28 %                 |
| 14 días   |                              | 0,55 mgCd/L                | 80.36 %                 |
| 21 días   |                              | 0,085 mgCd/L               | 96.96 %                 |
| 28 días   |                              | 0,022 mgCd/L               | 99.21%                  |

Fuente: Elaboración propia

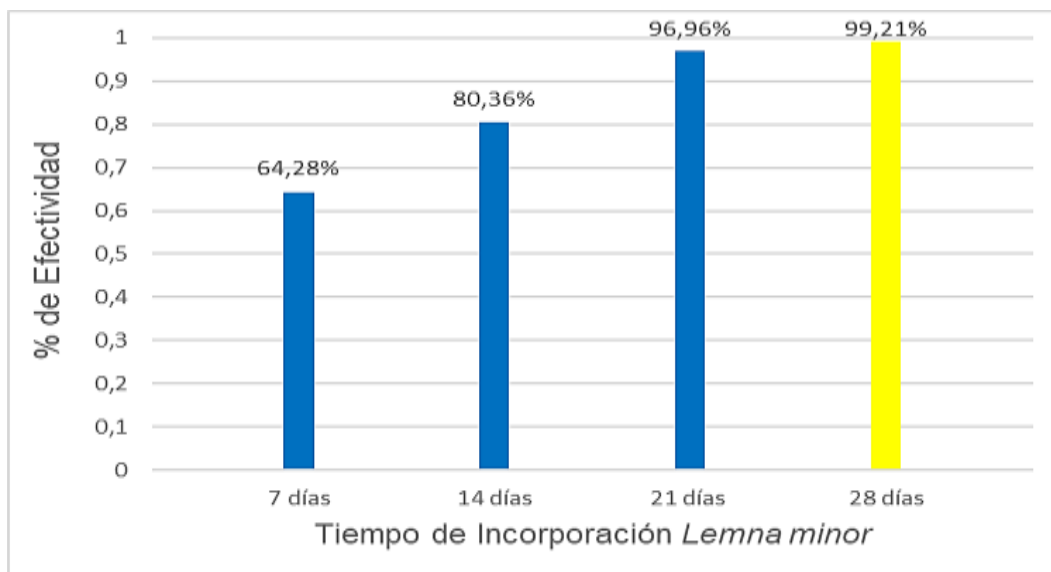


Figura 7: Determinación de la mayor absorción de cadmio en los cuatro tiempos de incorporación de *Lemna minor*

Fuente: Elaboración propia

En la figura 7 se observa que a los 28 días de incorporación de la especie *Lemna minor* se obtuvo el mayor porcentaje de absorción de cadmio, teniendo un 99.21 % de efectividad, se concluye que la especie *Lemna minor* tiene una gran capacidad fitorremediadora al absorber cadmio.

Tabla 8: Determinación de la mayor absorción de cobre en los cuatro tiempos de incorporación de *Lemna minor*

| Tiempo de incorporación <i>lemna minor</i> | Concentración inicial | Absorción de cobre | % de efectividad |
|--|-----------------------|--------------------|------------------|
| 7 días                                     | 1,4 mgCd/L            | 0,98 mgCd/L        | 30.00 %          |
| 14 días                                    |                       | 0,75 mgCd/L        | 46.42 %          |
| 21 días                                    |                       | 0,25 mgCd/L        | 82.14 %          |
| 28 días                                    |                       | 0,095 mgCd/L       | 93.21 %          |

Fuente: Elaboración propia

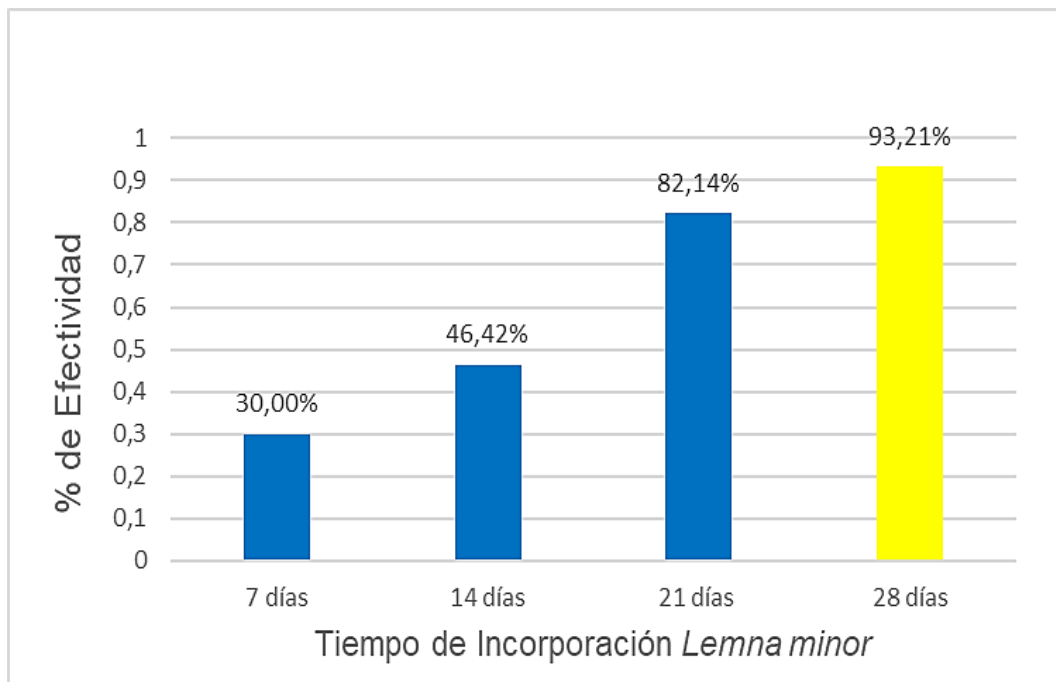


Figura 8: Determinación de la mayor absorción de cobre en los cuatro tiempos de incorporación de *Lemna minor*

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se observa que a los 28 días de incorporación de la especie *Lemna minor* se obtuvo el mayor porcentaje de absorción de cadmio, teniendo un 93.21 % de efectividad, se concluye que la especie *Lemna minor* tiene una gran capacidad fitorremediadora al absorber cadmio.

Diseño para evaluar el porcentaje de absorción de cadmio y cobre.

$$\frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} \times 100$$

Concentración inicial

**Tabla 9:** Evaluación de efectividad de absorción de cadmio y cobre en los cuatros tiempos de incorporación de *Lemna minor*

| Tiempo de incorporación <i>lemna minor</i> | Concentración inicial | Concentración final en la absorción de cadmio y cobre | % de efectividad |
|--|-----------------------|---|------------------|
| 7 días                                     | 2,8 mgCd/L            | 1 mgCd/L  | 64.28 %          |
|  | 1,4 mgCu/L            | 0,98 mgCu/L   | 30.00 %          |
| 14 días                                    | 2,8 mgCd/L            | 0,55 mgCd/L   | 80.36 %          |
|  | 1,4 mgCu/L            | 0,75 mgCu/L   | 46.42 %          |
| 21 días                                    | 2,8 mgCd/L            | 0,085 mgCd/L  | 96.96 %          |
|  | 1,4 mgCu/L            | 0,25 mgCu/L   | 82.14 %          |
| 28 días                                    | 2,8 mgCd/L            | 0,022 mgCd/L  | 99.21%           |
|  | 1,4 mgCu/L            | 0,095 mgCu/L  | 93.21%           |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 09 se observa los porcentajes de la efectividad de absorción de cadmio y cobre en los 28 días de incorporación de la especie *Lemna minor*, donde la mayor absorción de cadmio y cobre se dio en la cuarta semana de incorporación, logrando un 99.21 % y 93.21 % respectivamente, se concluye la mayor efectividad de *Lemna minor* en la absorción de cadmio que en la de cobre, obteniendo un 6% de diferencia en el mismo tiempo de incorporación de la especie.

## V. DISCUSIÓN

En la presente investigación se muestra la determinación de efectividad de absorción de cadmio y cobre por acción de *Lemna minor* en el Tragadero Yacuchingana determinado por el tiempo de incorporación de la macrófita. Se empleó el método de espectrofotometría de absorción atómica con flama (EAA) para determinar las concentraciones de los metales, se obtuvieron resultados diferentes en los cuatro periodos de incorporación de la especie. Mediante las gráficas elaboradas se puede observar que la especie *Lemna minor* presento un porcentaje mayor de efectividad de absorción del 99.21 % en el cuarto periodo de incorporación del metal cadmio, mientras que en el metal cobre se observó un porcentaje mayor de efectividad de absorción del 93.21 % en el cuarto periodo de incorporación.

Se concluye que la especie *Lemna minor* es efectiva en la absorción de cobre y cadmio, sin embargo, se obtuvo una mayor efectividad de absorción en cadmio, teniendo en cuenta estos resultados con la presente investigación de (Sandoval, 2019) utilizó la especie *Lemna minor* para la absorción de cadmio con un tiempo de 11 días, con un muestreo de análisis cada 2 días, en un estanque con 2 mg Cd/L, se empleó el método de espectrometría de emisión atómica. Finalmente, se concluye que la especie *Lemna minor* obtuvo un porcentaje de absorción del 39.35 % de cadmio. En mi proyecto de investigación se logró la mayor absorción de cadmio a los 21 días de incorporación de la especie *Lemna minor*, donde se obtuvo el 99.21 % de efectividad.

(Valencia, 2017) utilizó la macrófita *Lemna minor* en el tratamiento de fitorremediación de metal noble Cu, en escala de laboratorio con la especie *Lemna minor*, con la finalidad de fitorremediar el agua del río Suro. Se aplicó un diseño experimental bifactorial, donde se obtuvo una muestra de 80 litros del río Suro, para los respectivos análisis de determinación de cobre se utilizó el método de espectrometría de absorción atómica de flama. Finalmente, la especie *Lemna minor* llegó a remover un 97.4 % y 99.8 % a un pH 6 a los 10 y 15 días respectivamente de iniciado el tratamiento del agua del río Suro. En la presente investigación se

logró la mayor absorción de cobre a los 21 días de incorporación de la especie *Lemna minor*, donde se obtuvo el 93.21 % de efectividad.

En comparación a la presente investigación se trabajó a una temperatura y pH considerable para la sobrevivencia y acción de absorción de la especie *Lemna minor*, la cual pudo cumplir con su capacidad fitorremediadora de absorción de cadmio y cobre, donde se concluye la efectividad de la especie al absorber los dos metales estudiados, en la cual se logró una absorción de cadmio del 99.21 % y una absorción de cobre del 93.21 % en los cuatro tiempos de incorporación de la especie, al realizar este estudio de efectividad de absorción de cadmio y cobre por acción de *Lemna minor* en el Tragadero Yacuchingana. Se concluye la efectividad de absorción en el metal cadmio.



## VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó la efectividad de la absorción de cadmio y cobre por acción de *Lemna minor* en el Tragadero Yacuchingana a los 21 días de incorporación de la especie en el agua contaminada con el metal cadmio teniendo una efectividad de absorción del 99.21 %, mientras que en el agua contaminada con el metal cobre se obtuvo una efectividad de absorción del 93.21 %.
2. Se realizaron los análisis de concentración inicial de cadmio y cobre, se obtuvo como resultado una concentración para cadmio 2.80 mgCd/L y para cobre 1.40 mg Cu/L, ambos valores superaron los Límites Máximos Permisibles.
3. Para determinar el porcentaje de absorción de cadmio por acción de *Lemna minor*, se realizó cuatro tiempos de residencia: 7, 14, 21 y 28 días de incorporación de la especie, donde se obtuvieron los siguientes porcentajes de cadmio: 64.28 %, 80.36 %, 96.96 % y 99.21 % respectivamente. El mayor porcentaje de efectividad de absorción de cadmio se logró a los 28 días de incorporación de la especie con un 99.21 %.
4. Para determinar el porcentaje de absorción de cobre por acción de *Lemna minor*, se realizó cuatro tiempos de residencia: 7, 14, 21 y 28 días de incorporación de la especie, donde se obtuvieron los siguientes porcentajes de cobre: 30.00 %, 46.42 %, 82.14 % y 93.21 % respectivamente. El mayor porcentaje de efectividad de absorción de cobre se logró a los 28 días de incorporación de la especie con un 93.21 %.
5. Se determinó la comparación de mayor absorción comparación en cadmio y cobre por acción de *Lemna minor*, se logró determinar que la mayor efectividad de absorción de la especie fue a los 28 días de incorporación en el metal cadmio, obteniendo un 99.21 % de efectividad, mientras que para el metal cobre se logró la mayor efectividad de absorción en el mismo tiempo que cadmio, pero con una efectividad del 93.21 %. Se concluye que la especie *Lemna minor* tiene un gran porcentaje de efectividad de absorción de los metales cadmio y cobre.

## VII. RECOMENDACIONES

1. A los gobernadores de la provincia de Cutervo se recomienda realizar estudios en el Tragadero Yacuchungana respecto a la presencia de metales pesados, las cuales son generadas por las actividades domésticas e industriales, con la finalidad de evitar daños en la salud de los seres vivos y alteraciones en los acuíferos.
2. Mediante la investigación a la macrófita *Lemna minor* se determina su efectividad al absorber metales como cadmio y cobre, la cual puede ser utilizada para acuíferos contaminados con estos metales, las cuales provienen de actividades industriales y domésticas.
3. A través de la investigación se sugiere realizar estudios en otros metales, como es el caso del plomo, mercurio, cinc y entre otros, con el fin de verificar su efectividad y capacidad de fitorremediación de la especie *Lemna minor*.
4. Al cumplir el tiempo de incorporación y saturación de la especie *Lemna minor* se sugiere primeramente secar las biomásas, posteriormente trasladarlas a un relleno de seguridad, debido al metal que contiene en sus diferentes partes.
5. Los resultados obtenidos nos demostraron efectividad de absorción de cadmio y cobre, lo cual se recomienda trabajar a la especie *Lemna minor* en un tiempo de incorporación de 28 días con el fin de lograr un excelente porcentaje de absorción.

## REFERENCIAS

AMERICAN public health association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Edition. Washington, APHA, 1992. pp 3.9. 3.12.

ISBN: 0875532071

ARENAS, A. y otros. Evaluación de la planta *Lemna minor*, Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Venezuela, 2011. Recuperado noviembre 2020. Disponible en: [www.exeedu.com/publishing.cl/av\\_cienc.../1-AC11036-10-full.pdf](http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc.../1-AC11036-10-full.pdf)

ARENAS, A., MERÚ, M., y TORRES, G. EVALUATION OF THE PLANT *Lemna minor* FOR THE BIOREMEDIATION OF WATER CONTAMINATED WITH MERCURY. Revista Avances en Ciencias e Ingeniería [en línea]. 2011.vol. 2(3) pp. 1-11. [Date of consultation: 20 of october of 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323627683001.pdf>.

ISSN: 0718-8706

BRES, P., CRESPO, D., RIZZO, P., y LA ROSSA, R. CAPACITY MACROPHYTES EICHHORNIA CRASSIPES AND *Lemna minor* TO REMOVE THE NICKEL. Revista de Investigaciones Agropecuarias [en línea]. 2012.vol.38. n (2) pp.153-157. [Date of consultation: 10 of october of 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/864/86423631010.pdf>

CASTRILLÓN, V. y NAVARRO, L. 2016. Evaluación de la Fitorremediación como Alternativa para el Tratamiento de Aguas Residuales Contaminadas con Mercurio Producto de la Minería Aurífera (artesanal y pequeña escala. Monografía para optar al título de Ingeniero Ambiental. Manizales. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.106p

CLEMENS, S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. Biochimie [en línea]. 2006.vol.88. n.11. pp. 1707-1719. DOI: 10.1016/j.biochi.2006.07.003

COBBET. Phytochelatins and Metallothioneins: Roles in Heavy Metal Detoxification and Homeostasis [en línea]. 2002.vol.53. pp. 159-182. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.100301.135154>

DUSHENKOV, V. y RASKIN, I. Phytoremediation: Green revolution in Ecology. Chemistry and Life. (11-12): 48-49, 1999. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/260289397\\_Phytoremediation\\_a\\_new\\_green\\_revolution\\_in\\_ecology](https://www.researchgate.net/publication/260289397_Phytoremediation_a_new_green_revolution_in_ecology)

FERNÁNDEZ, A. 2004. Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653504006113>

FERNÁNDEZ, M. (2009). Fitodepuración en humedales. Recuperado el 16 de noviembre de 2020, de <http://www.cienciasmarinas.uvigo.es/bibliografia>

GARCÍA, L. 2017. Muestreo probabilístico y no probabilístico. Teoría. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/muestreo-probabilistico-no-probabilistico-teoria/>

GRIJALBO, Lucía. "Elaboración de inventarios de focos contaminantes. UF1941" [en línea]. 1 a. Ed. Logroño, España: Tutor Formación. 2016. [fecha de consulta: 14 octubre de 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.pe>

GUEVARA, A., TORRE, E. d. y VILLEGAS, A. Uso de la rizofiltración para el tratamiento de efluentes líquidos de cianuración que contienen cromo, cobre y cadmio. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales. (2): 871-878, 2009. Disponible en: <http://www.rlmm.org/archivos/S01/N2/RLMMArt-09S01N2-p871.pdf>

HERNÁNDEZ, D. DISEÑO CUASI EXPERIMENTAL. Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos.vol.9. pp. 24-34. ISSN: 2218-3620. Disponible en: <http://rus.ucf.edu.cu>

INSTITUTO de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.2014. Estudio Nacional del Agua. Bogotá: Panamericana Formas e Impresos S.A. Disponible en: [http://www.andi.com.co/Uploads/ENA\\_2014.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2014.pdf)

JARAMILLO, Mariuxi y FLORES, Edison. "Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* y *Echhornia Crassipes* en aguas residuales producto de la actividad minera". Tesis (título de Ingeniero Ambiental) Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. 2012. 128p.

JARAMILLO, Mariuxi y FLORES, Edison. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Tesis (Título en Ingeniería Ambiental). Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana, 2012. Disponible en: UPS-CT002482.pdf

LENNTECH BV. "Cobre-Propiedades químicas del Cobre - Efectos del Cobre sobre la salud - Efectos ambientales del Cobre". [En línea] 1998. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2017.] ©Copyright, Disponible en: <https://www.lenntech.com/periodic/elements/cu.htm>

LOZADA, J. Investigación aplicada. Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamericana.vol.3. n (1). pp. 47-50. ISSN: 1390-9592. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>

MÉNDEZ, L., RAMOS, P., y ARCE, O. (2015). Diagnóstico del uso del agua y vertimientos de efluentes líquidos en el Perú (2013-2015). Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas, UNMSM 20(39), 123–136. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v20i39.14175>.

MERA, Santiago. Evaluación de la bioconcentración de dos especies de macrófitas acuáticas (*Eichhornia crassipes* y *Lemna spp*) en la fitorremediación de un medio contaminado con plomo. Tesis (Título en Ingeniería de Biotecnología Ambiental). Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2016. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6174>.

MERELES, F.; DE EGEEA, J.; CÉSPEDES, G.; PEÑA, M. y DEGEN, R. "Plantas Acuáticas y Palustres del Paraguay" [en línea]. 1ª. ed. Vol. 1. San Lorenzo, Paraguay: Rojasiana Serie Especial 2(1), Inc. 2015. [Fecha de consulta: 14 julio de 2017]. Disponible en: <http://awsassets.panda.org/downloads>

NÚÑEZ, R. y otros. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. Julio – septiembre 2004. Recuperado septiembre 2020. Disponible en: [http://suel.wikispaces.com/file/view/Fitorremediación\\_Fundam\\_Aplic.pdf](http://suel.wikispaces.com/file/view/Fitorremediación_Fundam_Aplic.pdf).

ORGANIZACIÓN Mundial de Salud. (OMS). Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas. 2013. Disponible en: [https://www.who.int/ipcs/assessment/public\\_health/cadmium/es/](https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/cadmium/es/)

REPETTO, M. y SANZ, P. Toxicología de los metales. En: M. REPETTO. Postgrado en Toxicología. 1 ed. Sevilla (España): Ilustre Colegio oficial de Químicos, 2012, 192 p.

REPETTO, M., SANZ, P., 2008. Toxicología de los metales, en: Repetto, M. (Ed.). Postgrado en Toxicología. Ilustre Colegio Oficial de Químicos, Sevilla.

SANDOVAL, Joselyn. Eficiencia del jacinto de agua eichhornia crassipes y lenteja de agua lemna minor l. en la remoción de cadmio en aguas residuales. Tesis (Título en Ingeniería Ambiental). Perú. Universidad Nacional Federico Villarreal, 2019. Disponible en: <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3256>.

SEMARNAT. Informe de la situación del medio ambiente en México. 2012. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México. 2012 [fecha de consulta: 12 de abril 2019].

ISBN: 978-607-8246-61-8

VALENCIA, Elizabeth. Efecto del pH y tiempo en fitorremediación de Cobre con Lemna minor del agua del río Suro, Santiago de Chuco. Tesis (Título en Ingeniería Ambiental). Perú. Universidad César Vallejo, 2017. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/22508>

ZAYED, A. Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed [en línea]. 1998.vol.27. pp. 715-721. <https://doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700030032x>

ZENK, H. 1996. Heavy metal detoxification in higher plants a review. Volumen 179, pp. 21-30, ISSN 0378-1119. [https://doi.org/10.1016/S0378-1119\(96\)00422-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1119(96)00422-2).  
Disponibile en  
[:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378111996004222](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378111996004222)

## ANEXOS

**Anexo 01:** Resultados de los análisis de las dos concentraciones iniciales y posteriormente de las 8 muestras de cadmio y cobre después de haber finalizado los cuatro tiempos de incorporación de la macrófita, otorgados por el laboratorio de ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.



### INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-1136

|                                |   |  |
|--------------------------------|---|--|
| 1. PROYECTO                    | : | DETERMINACIÓN DE EFECTIVIDAD DE ABSORCIÓN DE CADMIO Y COBRE POR ACCIÓN DE LEMNA MINOR EN EL TRAGADERO YACUCHINGANA |
| 2. PROCEDENCIA                 | : | CUTERVO-CAJAMARCA-CAJAMARCA  |
| 3. SOLICITANTE                 | : | MONTENEGRO VILLALOBOS JUAN FERNANDO  |
| 4. ORDEN DE SERVICIO N°        | : | OS-21-1136   |
| 5. PLAN DE MONITOREO           | : | PM-20-0070   |
| 6. MUESTREO POR                | : | ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L  |
| 7. FECHA DE EMISIÓN DE INFORME | : | 2021-07-08   |

#### II. DATOS ITEMS DE ENSAYO

|                                  |   |            |
|----------------------------------|---|------------|
| 1. MATRIZ                        | : | AGUA       |
| 2. NÚMERO DE ESTACIONES          | : | 5          |
| 3. FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA | : | mayo-junio |
| 4. PERIODO DE ENSAYO             | : | mayo-junio |

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L. Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



### RESULTADOS

| ITEM                     | 1               | 2                   | 3                  | 4                   | 5                   |                     |
|--------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| CODIGO LABORATORIO:      | M-20-26642      | M-20-26643          | M-20-26644         | M-20-26645          | M-20-26646          |                     |
| CODIGO CLIENTE:          | AG-01           | AG-02               | AG-03              | AG-04               | AG-05               |                     |
| COORDENADAS UTM WGS 84:  | NO APLICA       |                     |                    |                     |                     |                     |
| PRODUCTO                 | AGUA            |                     |                    |                     |                     |                     |
| INSTRUCTIVO DE MUESTREO: | IC-OPE-1.5      |                     |                    |                     |                     |                     |
| FECHA Y HORA DE MUESTREO | FECHA:<br>HORA: | 31/05/2021<br>10:00 | 7/06/2021<br>10:00 | 14/06/2021<br>10:00 | 21/06/2021<br>10:00 | 28/06/2021<br>10:00 |
| ENSAYO                   | Unidad de pH    | RESULTADOS          |                    |                     |                     |                     |
| pH                       | Unidad de pH    | 7.35                | *                  | *                   | *                   | *                   |
| Temperatura              | °C              | 23.2                | *                  | *                   | *                   | *                   |
| Turbidez                 | NTU             | 200                 | *                  | *                   | *                   | *                   |
| Conductividad eléctrica  | uS/m            | 3.183               | *                  | *                   | *                   | *                   |
| Cadmio                   | mg Cd/L         | 2.8                 | 1                  | 0.55                | 0.085               | 0.022               |
| Cobre                    | mg Cu/L         | 1.4                 | 0.98               | 0.75                | 0.25                | 0.095               |

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA 2 Ensayo acreditado por el IAS

(c) Ensayo realizado en campo (medido in situ)

\*FIN DEL DOCUMENTO\*

**Anexo 02:** Recolección de muestras del agua residual del Tragadero  
Yacuchingana



**Anexo 03:** Visita al dren 4000 para la recolección de la especie *Lemna minor*





**Anexo 04:** Incorporación del agua residual y especie *Lemna minor* en el estanque



### Anexo 05: Matriz de operacionalización de variables

| Variable  | Definición conceptual  | Definición operacional   | Indicadores  | Índice                        |
|---|--|--|--|-------------------------------|
| <p><b>VI:</b><br/>Efectividad de <i>Lemna minor</i></p> | <p>Según (Zayed, 1998) el cuerpo vegetativo de <i>Lemna minor</i> L. sobrevive en aguas eutrofizadas y es una planta hiperacumuladora, la cual presenta un alto potencial en la absorción de metales, la concentración alta del metal puede dañar la capacidad de fitoextracción de esta planta.</p>   | <p>Se elaboró un estanque conteniendo agua superficial contaminada con cadmio y cobre; se aplicará la especie <i>Lemna minor</i> al estanque con el fin de determinar su efectividad en la absorción de cadmio y cobre por un periodo de 28 días.</p>  | <p>Tiempo de residencia</p>                                  | <p>7, 14, 21 y 28 días.</p>   |
| <p><b>VD:</b><br/>Absorción de cadmio y cobre</p>       | <p>Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2013) menciona que el cadmio es un metal que se emplea en los procesos de obtención del acero, fabricación de plásticos, en los fertilizantes empleados en el área local.</p> <p>Según Repetto y Sanz (2012) menciona al cobre como un metal no ferroso, la utilidad del cobre se da en diferentes sectores como: industrial, manufacturero y construcción.</p> | <p>El agua superficial con cadmio y cobre se analizará con el método de espectrofotometría de absorción atómica, para determinar la actual concentración del cadmio en el agua.</p> <p>Se realizarán análisis de dos muestras cada siete días, obteniendo un periodo de residencia de la planta <i>Lemna minor</i> de 28 días.</p> | <p>Concentración de cadmio</p> <p>Concentración de cobre</p> | <p>mg Cd/L</p> <p>mg Cu/L</p> |

Fuente: Elaboración propia