



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

Título

**“ANÁLISIS DEL NIVEL DE FITORREMEDIACIÓN DE MERCURIO
UTILIZANDO *Eichhornia crossipes* Y *Lemna minor* EN UNA MUESTRA DE
AGUA CONTAMINADA ARTIFICIALMENTE, TRUJILLO - 2017”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO DE
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTA**

AUTOR:

Pérez Vélez, Neil Anderson (0000-0001-7678-8971)

ASESOR:

Mg. Misael Ydilbrando Villacorta González ([0000-0002-5346-4824](https://orcid.org/0000-0002-5346-4824))

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

TRUJILLO – PERÚ

2017

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación esencialmente a Dios por permitirme y brindarme llegar a este momento final de mi formación profesional.

A mi madre que gracias a su ayuda incondicional en cada instante me ayudó a salir adelante en cada momento y sobre todo en los más difíciles.

Por último y no menos importante a mis hermanas y a todas las personas que estuvieron apoyándome en todo momento de manera directa o indirecta para la obtención de resultados positivos en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a muchas personas que hicieron posible la realización de este trabajo de investigación de las cuales citaré a algunas.

Principalmente quiero agradecer a Dios por permitir llegar y culminar con éxito uno de los importantes sucesos en mi vida profesional.

A mi familia que son mi mamá y hermanas que fueron y son una fuente de soporte incondicional y constante en toda mi vida, sobre todo en mi vida profesional.

A mi asesora que con su ayuda y guía pude finalizar este trabajo de investigación.

PÁGINA DEL JURADO

Miembro (a) del jurado: Mg. Misael ydilbiando Villacorta Gonzales _____

Firma

Miembro (a) del jurado: Mg. Antis Jesús Cruz Escobedo _____

Firma

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Niel Anderson Pérez Vélez con DNI N° 74626063 estudiante de la escuela de INGENIERIA AMBIENTAL de la Universidad César Vallejo sede Trujillo; a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo declaramos bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente investigación son auténticos y veraces.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, junio del 2017

Niel Anderson Pérez Vélez

DNI: 74626063

ÍNDICE

CARATULA.....	I
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
PÁGINAS DEL JURADO.....	IV
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	V
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. METÓDO.....	28
2.1. Tipo y diseño de Investigación.....	28
2.2. Población, muestra y muestreo.....	28
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	28
a. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	28
b. Validez y confiabilidad.....	29
2.4. Procedimiento.....	29
2.5. Método de análisis de datos.....	30
2.6. Aspectos éticos.....	30
III. Resultados.....	31
IV. DISCUSIONES.....	41
V. CONCLUSIONES.....	42
VI. RECOMENDACIONES:.....	43
VII. REFERENCIA.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de varianza de la muestra 1	38
Tabla 2. Análisis de varianza de la muestra 2	39
Tabla 3. Análisis de varianza de la muestra 3	40
Tabla 4. Variables – operacionalización	46
Tabla 5. Población y muestra	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales plantas acuáticas	16
Figura 2. Eichhornia Crassipes	17
Figura 3. Lemna minor	20
Figura 4. Nivel de absorción de la primera serie	31
Figura 5. Nivel de absorción de la segunda serie	32
Figura 6. Nivel de absorción de la tercera serie	33
Figura 7. Gráfico comparativo del nivel de absorción de ambas plantas	34
Figura 8. Peso seco de las hojas de E.C y L.M de la primera serie	35
Figura 9. Peso seco de las hojas de E.C y L.M de la segunda serie	36
Figura 10. Peso seco de las hojas de E.C y L.M de la tercera serie	37

RESUMEN

En el siguiente trabajo de investigación se propuso investigar el nivel de fitorremediación con metales pesados (cloruro de mercurio) de las plantas *Eichhornia crossipes* y *Lemna minor* con un agua contaminada artificialmente extraída de la ciudad de Trujillo.

Conocer el nivel de absorción de una planta fitorremediadora conlleva a incorporar en la situación ambiental actual del nivel de contaminación por metales pesados a causa de la extracción de minerales en el recurso hídrico, que al mismo tiempo brinda la mejora de la calidad del agua y la relación con el medio natural.

Se obtuvo datos e información acerca del nivel de fitorremediación de las plantas *Eichhornia crossipes* y *Lemna minor*, elaborando un análisis con tres muestras diferentes para ambas plantas, con el fin de obtener, promediar y comparar los niveles de absorción respectivamente, el cual nos brindó la eficacia de las plantas.

Para obtener el nivel de contaminación del agua artificialmente a 3 ppm por millón se efectuó la fórmula de concentración de una solución para tener el peso exacto del cloruro de mercurio para 3 litros de agua, determinando así los niveles de absorción de ambas plantas a través del espectrofotómetro, para determinar los cambios característico se utilizó el análisis de peso seco de una hoja.

En base a los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza con un cuadro estadístico de ANOVA diagnosticando el nivel de fitorremediación de ambas plantas y trazando así la de mayor absorción; gracias a la información adquirida de los cuadros estadísticos permitió conocer el nivel y la diferencia de absorción entre las dos plantas y poder usar este método para mitigar los impactos ambientales hídricos causado por los metales pesados.

Palabras claves: fitorremediación, mercurio, absorción.

ABSTRACT

In the following research work it was proposed to investigate the level of phytoremediation with heavy metals (mercury chloride) of the Eichhornia crossipes and Lemna minor plants with an artificially contaminated water extracted from the city of Trujillo.

Knowing the level of absorption of a phytoremediation plant leads to incorporating into the current environmental situation the level of contamination by heavy metals due to the extraction of minerals in the water resource, which at the same time provides the improvement of water quality and relationship with the natural environment.

Data and information about the level of phytoremediation of the Eichhornia crossipes and Lemna minor plants were obtained, preparing an analysis with three different samples for both plants, in order to obtain, average and compare the absorption levels respectively, which gave us the efficiency of plants.

In order to obtain the level of water pollution artificially at 3 ppm per million, the formula for concentration of a solution was made to have the exact weight of mercury chloride for 3 liters of water, thus determining the absorption levels of both plants through the Spectrophotometer, to determine the characteristic changes, the dry weight analysis of a leaf was used.

Based on the results obtained, it carried out an analysis of variance with a statistical table of ANOVA diagnosing the level of phytoremediation of both plants and thus plotting the one with the highest absorption; Thanks to the information acquired from the statistical tables, it was possible to know the level and the difference in absorption between the two plants and to be able to use this method to mitigate the environmental impacts caused by heavy metals.

Keywords: phytoremediation, mercury, absorption.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las plantas en todos sus niveles, es el medio de estabilidad y desarrollo para todos los seres vivos, a través de ella los seres humanos pueden sobrevivir, facilitando y haciendo más cómoda la vida, tanto en la salud, al medio social, natural y económico. Por ello un país tiene como objetivo prioritario que una planta posea todos los medios necesarios y accesibles para el beneficio de su crecimiento.

Sin embargo, cuando en el proceso de su crecimiento, uno de sus componentes falla o es alterado, éstos se encuentran situaciones críticas, que deben ser analizados y resueltos de manera técnica y/o científica.

Uno de las grandes problemáticas que se ve obligado a afrontar actualmente el sistema de crecimiento de plantas en nuestra sociedad actual, es sin duda, el alto nivel de contaminación por metales pesados en las aguas, mismo que sobrepasa los límites máximos permisibles (LMP) para un sistema de agua en todas sus categorías según la normativa.

Particularmente, el problema de contaminación de un sistema de riego con metales pesados que se da en zonas de explotación minera, expresa, una gran variedad de indicadores y características, que permiten analizar con objetividad el grado de contaminación alarmante de nuestras aguas, de tal manera que, se manifiesta en la alcalinidad del agua, densidad, electronegatividad, composición física, biológica, etcétera.

Esta situación de contaminación hídrica, afecta no sólo a las plantas y su crecimiento, sino también a la población en general. Una solución factible, económica y natural de este problema es la fitorremediación y absorción, es el principal objetivo de este presente trabajo de investigación.

La situación actual en el Perú abarca sobre explotación de minerales que ha ido aumentando a un grado alarmante, tanto la minería con maquinaria o también considerada minería a escala mayor, así como también la minería de producción artesanal, siendo ésta la que más daño produce al medio ambiente y los recursos naturales, todo esto producido por la falta de control, por lo que según estudios e investigaciones realizados en los últimos años ha existido un aumento excesivo de la contaminación de los flujos de agua tanto subterráneas como

superficiales, esto es causado por el manejo inapropiado de las aguas residuales producidas por esta actividad. La tecnología convencional que son diseñadas, utilizadas e investigadas en países desarrollados y grandes empresas, llegan a ser instrumentos efectivos y muy eficientes pero los tratamientos muy apartes que poseen un porcentaje elevado de costos son complejos y pueden representar un egreso muy alto para las empresas, ya sea tanto para la construcción como para la operación, por lo tanto se vio en la necesidad de desarrollar nuevos sistemas, priorizando la mejoraría de la salud pública y la del medio ambiente y los recursos que brindan. El tratamiento por medio de estanques con plantas acuáticas para estas aguas residuales contaminadas con metales y otros organismos llamado fitorremediación, absorción, entre otros, ha realizado un logro el proporcionar un tratamiento integral, el cual este no sólo remueve y elimina eficientemente el material orgánico y gran parte de los sólidos suspendidos, sino que logra también disminuir las sales disueltas, nutrientes en exceso, metales pesados y algunos organismos patógenos. Por estos motivos se estudiará los distintos comportamientos y características de dos plantas acuáticas, *Lemna minor* o también llamada coloquialmente lenteja de agua y *Eichhornia Crossipes* o conocida como Jacinto de agua teniendo estas variables con el fin de analizar el nivel de absorción de mercurio y crecimiento de las plantas acuáticas.

La espectroscopia de absorción atómica, permitirá medir las concentraciones específicas de un material en una mezcla y determinar una gran variedad de elementos, de tal manera se podrá determinar el nivel de concentración de mercurio. Esta investigación servirá como base para el desarrollo de futuras investigaciones relacionadas al tema, para la producción y la reducción de contaminantes en el agua y para el aprovechamiento de los recursos naturales para la biorremediación en nuestros ecosistemas.

Para esto en los trabajos previos vemos que según **CHICO et-al (2012)**, en su revista científica “CAPACIDAD REMEDIADORA DE LA RAÍZ DE GIRASOL, HELIANTHUS ANNUUS, CUANDO ES SOMETIDA A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE PLOMO” se obtuvo como resultado que la acumulación de Pb en tejidos aumentó resultando en grandes cantidades para sus raíces que en gran proporción para sus tallos, estos resultados pudo ser comparado con el 100% obtenidos y analizados a raíz de todas las plantas que funcionan como inspección o testigos que no fueron sometidas a niveles de plomo, dando

como resultado acerca de dicha variedad solamente no tolera y resiste, sino que al existir niveles de concentración de plomo en el rango de 100 a 250 mg/L incita la elongación de la raíz 20%, con respecto al control. La especie hiperacumuladora, *Brassica pekinensis* mostró que a pesar de las elevadas concentraciones de plomo (1000 µg/mL), la germinación no tuvo alguna variación significativamente con respecto al control, sin embargo, con respecto a la elongación de las raíces y brotes se vio afectada disminuyendo la longitud a una distancia de la mitad con respecto a la muestra sin plomo, produciendo gran magnitud de efectos negativos en las raíces. Se tuvo como conclusión que esta especie analizada tiene la capacidad para hiperacumular plomo en sus tejidos sin embargo mucho más sensible a grandes concentraciones de plomo por ejemplo mayores a 1000µg/mL.

Según **HURTADO JIMÉNEZ, Francisco (2013)**, “En su análisis de la ABSORCIÓN DEL ION CROMO VI CON JACINTO DE AGUA (*EICHHORNIA CRASSIPES*) muestran que el Jacinto de agua absorbe [Cr+6], todo esto bajo distintos esquemas: Primera muestra con concentraciones de [Cr+6] del orden de 51.3 ppm a las nueve semanas su disminución significativa llegó hasta 21.4 ppm, con tendencia a mantenerse en el agua como concentración de equilibrio del sistema y en el caso de 25.6 ppm la disminución llega hasta valores de 7.8 ppm - 9.5 ppm de [Cr+6] a las nueve semanas con tendencia a mantenerse. De tal manera en el caso de la concentración inicial de 11.5 ppm se alcanza a las nueve semanas una reducción hasta el valor de 3.6 ppm de [Cr+6] y por consiguiente se mantiene el equilibrio del sistema. La velocidad de absorción de [Cr+6] por el Jacinto de agua es mayor cuanto mayor es la concentración de [Cr+6] y viceversa a menores concentraciones de [Cr+6]. Este fenómeno se debería a que altas concentraciones de [Cr+6] implican en el sistema un alto potencial de [Cr+6] frente al equilibrio interno de la planta y por ende el potencial de difusión es mucho mayor y entonces la planta absorbe el [Cr+6] con mayor velocidad. Las plantas de Jacinto de agua responden fisiológicamente a acorde con la concentración de [Cr+6] observándose que cuando tenemos concentraciones de 11.5 ppm de [Cr+6] la planta mantiene su “verdor”, es decir sobrevive a esta concentración de [Cr+6]. Sin embargo, cuando las concentraciones son elevadas como es el caso de 51.3 ppm de [Cr+6] en el medio, la planta absorbe el [Cr+6] bruscamente, ocasionando un desequilibrio en la planta, la cual en el tiempo genera su muerte por envenenamiento.”

Para **GARCÍA ZÚÑIGA, Cecilia (2012)**, Presentó a la Universidad Nacional de Ingeniería para optar el título de ingeniería sanitaria, su proyecto de tesis “COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE TRES PLANTAS ACUÁTICAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS” con el objetivo de determinar si el sistema de reactores con plantas acuáticas remueve nutrientes y observar si es un sistema adecuado y complementario con las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales existentes en nuestro país llegando a la conclusión que la capacidad de remoción utilizando Azolla en este estudio previo fueron bajas para el N y altas para P presentes en el medio acuático y también que la sustracción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO₅ fue del 96.7% y la capacidad de remoción de nutrientes fluctuó de un 50% a un 100%, con un periodo de retención de 5 días utilizando *Lemna Minor*.

Según **ARENA TORRES, Marco (2010)**, En su investigación realizada sobre “EVALUACIÓN DE LA PLANTA LEMNA MINOR COMO BIORREMIADORA DE AGUAS CONTAMINADAS CON MERCURIO” Se evaluó la capacidad biorremediadora de Lemna minor en función del tiempo en aguas contaminadas con mercurio mediante un diseño experimental de 3 bloques al azar con cinco réplicas: un grupo experimental con 100 g de Lemna, 7,5 L de agua contaminada con Hg (0,13 mgL⁻¹) y solución nutritiva; un grupo Testigo con 100 g de Lemna, 7,5 L de agua y solución nutritiva y un grupo control con mercurio al nivel de 0,13 mgL⁻¹ en agua destilada sin plantas. Se obtuvo que la eficiencia de remoción de mercurio de la Lemna minor, en 22 días, fue de 30%. Las variables peso fresco, peso seco, y nitrógeno y fósforo foliares no presentaron diferencias significativas entre los dos tratamientos. La absorción de potasio fue afectada por los niveles de mercurio. La planta Lemna minor representa una alternativa para la remoción de mercurio en aguas contaminadas hasta un nivel de 0,13 mg/L.

PONCE LEON, María (2004) En su tesis de investigación titulado “FITORREMIADACION MEDIANTE EL USO DE DOS ESPECIES VEGETALES LEMMA MINOR (LENTEJA DE AGUA) Y EICHORNIA CRASSIPES (JACINTO DE AGUA) EN AGUAS RESIDUALES PRODUCTO DE LA ACTIVIDAD MINERA” teniendo como objetivo principal la determinación de concentraciones de las sales de

mercurio a través de plantas que trabajen como bioacumulantes de estos mismos , llegando a la conclusión que el método de generación de hidruros ayuda en determinar y analizar la sal de mercurio que se encuentra en el agua de beber y aguas de torno natural claras que se encuentran en concentraciones por debajo de 1 ug/litro.

BUSTAMANTE RODRIGUEZ, Patricia (2007) En su tesis de investigación que tiene como título “COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PLANTAS ACUÁTICAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS” teniendo como objetivo principal la comparación eficiente de dos especies de plantas de clase macrófitas para la remoción de nutrientes, fósforo y nitrógeno (P, PO₄⁻³ , NH₄⁺ y NH₃) , llegando a la conclusión que el incremento de estos parámetros que son nitrogenados excepto los nitratos; principalmente los que fueron aumentando con *Lemna Minor* y en cambio fueron logrados ser removidos con *Eichhornia Crassipes*. Los parámetros microbianos no evaluaron los tratamientos con precisión a los niveles de remoción.

Gracias a estos trabajos encontramos en las teorías relacionadas al tema que:

a. Sistema de plantas hídras flotantes

Las siembras de aguas o también llamados sistemas de plantas hídras flotantes es una variación de tipo de los humedales artificiales a lo que quiere decir que el recurso hídrico se encuentra en contacto con la atmosfera y a través de esto establece para el sistema de aireación una fuente principal de oxígeno; se trata de la introducción de un sistema de siembras de plantas de tipo acuáticos flotantes como *Eichhornia Crassipes* y *Lemna minor*, con la finalidad de la eliminación de determinados componentes presentes en las aguas a través de sus raíces que constituyen para una buena absorción responsable del tratamiento. Resaltando que uno de sus mayores desventajas que presenta este tipo de sistemas es la proliferación de larvas e insectos. (León, y otros, 2009) .

El sistema que se emplean para las plantas de agua como *Eichhornia Crossipes* está diseñados para realizar niveles de 6 tratamientos secundarios. Como resultado fueron utilizados estos sistemas como medios de fabricación de proteínas para enormes cantidades de biomasa que se generan. (Celis, y otros, 2005)

Ha despertado un gran interés para realizar el tratamiento de estas aguas residuales a través de plantas acuáticas cultivados en estanques, mismo por el potencial y grandes resultados que han estado otorgando para la depuración de las mismas. En algunos de estos sistemas se ha logrado proporcionar un tratamiento integral que no solamente se remueven de manera eficiente el material orgánico y sólidos suspendidos, sino que también logra reducir ciertas características como sales disueltas, metales pesado, patógenos y nutrientes.

b. tipos de plantas acuáticas

En definición estas plantas acuáticas son aquellas que necesitan de una gran cantidad de agua en sus raíces o sistema para poder sobrevivir, este tipo de plantas crecen en hábitats muy húmedos y completamente inundados, básicamente poseen de igual manera los requerimientos nutricionales de las plantas terrestres. Se clasifican de tres tipos en flotantes, sumergidas y emergentes (Caicedo, Julian 1995 citado por (León, y otros, 2009)).

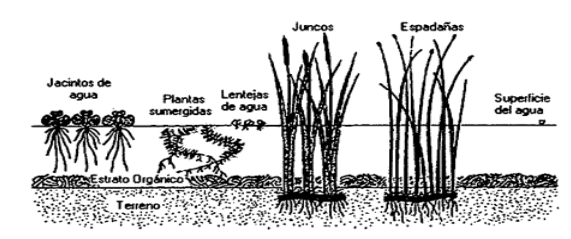


Figura 1. principales plantas acuáticas

Fuente: García, 2008

I. Flotantes

Se les llama de esta manera al grupo de plantas de recurso hídrico que poseen sus partes sintetizadas por encima de la superficie y sus raíces se dirigen por dentro de la superficie. La función de las raíces no va sólo para la extracción de los nutrientes presentes en sistema acuático, sino también funcionan para la sustracción de bacterias y como 7 métodos de adsorción de sólidos suspendidos. Evitan también el acceso de la luz solar, impidiendo que crezca algas en las profundidades. En las plantas flotantes podemos encontrar al Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*); helecho de agua (*Salvinia* sp y *Azolla* sp), lechuga de agua (*Pistia* sp) y lentejas (*Lemna* sp; *Woifia* sp y *Wolffiella* sp). (León, y otros, 2009)

II. Sumergidas

Se les da este nombre al tipo de plantas que no flotan en la superficie y una de sus características es presencia de sus raíces dentro de sistema de agua o adaptadas en el fondo. Su principal función es el oxigenamiento del agua y no se encuentran nunca en los sitios donde hay presencias de las plantas flotantes, por motivo que estas no permiten que la luz solar ingrese y no habría el proceso fotosintético en este tipo de plantas. (León, y otros, 2009)

III. Emergentes

El crecimiento de estas plantas abarca en el enraizamiento desde el fondo y se caracterizan por el brote de sus hojas hacía la superficie. entre las más comunes para América del Sur se encuentran el carrizo (*Phragmites* sp), junco (*Juncus* sp) y la espadaña (*Typha* sp); estos tipos de plantas son mayormente usados para los humedales fabricados por el hombre o artificiales, en los que se agregan una medida de columna o soporte para el enraizamiento. (León, y otros, 2009)

Eichhornia Crassipes

- **Origen**

Se le conoce de manera coloquial también como Jacinto de agua. Fue descubierta por botánico alemán Hermann Maximilian Carl Ludwig Friedrich Zu Solms-Laubach en el año 1883 mismo que otorgó el nombre. Esta planta de sistema acuático tiene como nombre científico *Eichhornia crassipes*, perteneciente al reino *Plantae* en la división de los *Magnoliophyta* en la clase de los *Liliopsida* en el orden de los *Commelinales* perteneciente a la familia de los *Pontederiaceae* en el género de los *Eichhornia*, perteneciente al hábitat de zona tropicales. (Solms-Laubach, 1883)



Figura 2. *Eichhornia Crassipes*

Fuente: (Solms-Laubach, 1883)

- **Características**

La *Eichhornia crassipes* aparentemente carecen de tallo, equipada con un rizoma de manera muy particular y saliente, del que se produce un rosetón de hojas que posee una superficie muy esponjosa y notablemente inflada que da la forma de un globo formando una vejiga llena de aire, para que el vegetal puede tener firmeza y mantenerse sobre la superficie acuática, el borde se estrecha en la zona media, formando una especie o figura de lengua plana y redondeada. (Solms-Laubach, 1883) El brillante color verde oscuro y lustroso que emana de esta planta de hojas de forma de corazón, se realza en medio de la temporada de floración con el tallo espigado que otorga de color malva claro de sus bellas flores, que tiene una duración breve de dos a máximo tres días. La masa radicular, espesa, de color marrón azulado, presenta un espectacular desarrollo en anchura y longitud superior en muchos casos los 30 cm. (Solms-Laubach, 1883)

Es un tipo de especie flotante con raíces sumergidas, este tipo de plantas llegan a reproducirse de manera tan numerosas que también crecen con una gran rapidez que muchas personas llegan a considerarlas como plantas perjudiciales y/o plagas para las almacenes y depósitos de un sistema hídrico. La planta posee una belleza única debido al conjunto y unión que forma el codo verde brillante de su follaje con el azul-lila de sus inflorescencias. Sus flores de un color azul-lila son de gran tamaño; tienen un parentesco con las orquídeas. Esta planta fue domesticada para el uso de manera ornamental para adornar junto a otras plantas acuáticas a muchos los estanques de jardines. (Solms-Laubach, 1883)

El sistema de raíces que posee esta planta, abarca a la presencia de microorganismos que asociados a ella favorecen la acción depuradora que poseen estos tipos de plantas acuáticas, esto quiere decir que en sus tejidos o raíces retienen cantidades de sustancias y/o metales pesados (Cd, Hg, As, Fe). Que, Además de la depuración, remueven en cantidades pequeñas algunas sustancias orgánicas, tales como son los pesticidas, fenoles, colorantes, y también existe la disminución de niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno(DQO) y algunos sólidos suspendidos.

- **Reproducción**

La *Eichhornia crassipes* se encuentra en cuerpos de hábitat de agua dulce tales como los ríos, lagunas, lagos, charcos y embalses de los trópicos y subtropicos que se encuentran localizados a una latitud no mayor de 40°N y 45°S. Teniendo en cuenta que la alta salinidad y a bajas temperaturas tales como menores de 0°C tienen una influencia y afectan a su crecimiento. No obstante, cuerpos de agua eutrofizados que poseen altos niveles de fosforo, potasio y nitrógeno al igual que aguas con metales pesados como mercurio, plomo, cobre y cromo no afectan ni limitan su crecimiento. Por un cierto periodo de tiempo *Eichhornia crassipes* puede anclarse y enraizar a los suelos que poseen saturación de agua. (Solms-Laubach, 1883)

Cuando existe un descenso de la temperatura disminuyendo por más de los 16 °C, se situarán en el interior de espaciosos tanques inundados de agua a una altura media y con una separación mínima de 60 centímetros de la rampa luminosa a la parte más alta de la planta para así tener que evitar que se produzca quemaduras y desecación. (Solms-Laubach, 1883)

- **Condiciones de mantenimiento**

Eichhornia crassipes tiene la necesidad de superficies con agua neutra y lo más extensas posibles, cuyo pH oscile entre 6,8 y 7,5 respectivamente, de preferencia una dureza media entre los 12-18 DH y con temperaturas extremas que no sobrepasen y disminuyan entre 17 °C y 28 °C, tienen en cuenta que lo más óptimo se encuentre entre los 22 °C - 24 °C. Demanda de una intensa iluminación, viendo que, si la luz es artificial, debe ser proporcionada completar rampa luminosa. Opta por suelos de tipo areno-limosos, en los que apenas tocan los extremos de las raíces, con muy buenas provisiones de principios nutritivos y abonos complejos. (Solms-Laubach, 1883)

- **Utilización**

Muchas empresas o personas lo emplean del tipo criadora de pulga de agua y crustáceo, puesto que su utilización en acuarios como decoración resulta muy imposible producida por la altura que posee el vegetal, teniendo a exigir una gran distancia entre la superficie del agua y la rampa luminosa. En muchos estanques es muy apreciada y las personas aficionadas y sofisticada la usan para rellenar los acuarios, siendo conservadas durante el invierno en múltiples depósitos de buena

superficie con una temperatura fresca oscilando entre los 16 °C - 17 °C y principalmente con lugares que posean iluminación. (Solms-Laubach, 1883)

Se debe tener en cuenta que la planta *Eichhornia crassipes* no debe ser irse o ser botadas por a las alcantarillas o ríos de ninguna parte de la planta, ya que esta situación puede ocasionar la producción de una auténtica plaga lacustre.

Lemna minor

- **Origen**

La planta *Lemna minor* o también conocida coloquialmente como Lenteja de agua es una planta de sistema acuático de origen cosmopolita del reino *Plantae* fue descrito por Carolus Linnaeus y fue publicado en *Species Plantarum vol2: 970* en 1753, la especie pertenece a la división de los *Faberógama magnoliophyta*, En la clase de los *Liliopsida* que se encuentra en el orden los *Alismatales* que forma parte de la familia de los *Araceae*, del género de los *Lemna*. (Linnaeus, 1753)



Figura 3. Lemna minor

Fuente: (Linnaeus, 1753)

- **Características**

La familia botánica que está conformada por estas plantas de ambiente acuático son libres, y que viven flotando, sin anclarse a los lechos fangosos, arenosos y/o turbosos de las lagunas, ríos y otras zonas de característica húmeda, fluvial o estancado de un curso muy lento. Posee una diminuta forma verdosa o verde amillo, cuya parte inferior, en contacto con el agua lleva una o varias raicillas diminutas, filiformes, simplificadas

en auténticos rizoides que llevan una cubierta protectora en su extremo. (Arroyave, 2004)

En realidad, la falsa hoja que aparenta de las Lemnáceas es una especie de tallo diminuto o reducido que fue transformado a su mínima expresión, que no puede ser observado a simple vista. (Arroyave, 2004)

Consiste en una estructura de forma plana y de color verde claro u oscuro dependiendo del nivel de la luz solar y de una sola raíz delgada de color netamente blanco. (Cook, y otros, 1974) Según Cook y Gut (1974). El crecimiento de esta especie de planta es de manera rápida, por lo que si no se controla puede llegar a convertirse en una plaga del sistema acuático. Posee la forma de una pequeña planta flotante con hojas aplanadas y de tipo elípticas, el tamaño que poseen cada una de estas reducidas hojas alcanza entre los 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho. Sus cuerpos se unen en si por un pequeño manojito de raíces y concierne a una forma taloide, es decir, no se diferencia el tallo y las hojas, brinda un color verde en las hojas, siendo intensificado por la iluminación. Requieren de abundante luz ente doce o catorce horas al día como mínimo.

Según Armstrong en 1996 dice que *Lemna minor* es una planta del tipo monoica, con flores unisexuales. Quiere decir que las flores masculinas son constituidas por un solo estambre y las flores de género femenino consisten en un pistilo que son formados por un solo carpelo. La temperatura promedio que necesitan para reproducirse es de 15 °C a 25 °C. Posee la capacidad para sobrevivir soportando algunos cambios climáticos que son propios de zonas continentales.

- **Condiciones del agua**

Son de superficies tranquilas, con poco movimiento y nunca con corrientes, no posee algunas preferencias en cuanto al grado de pH y el nivel de dureza de los flujos de aguas, llegando a soportar altos niveles de ausencia de filtros demasiado impetuosos que provocan movimientos fuertes del agua.

Se puede conseguir en recipientes o depósitos que no poseen algún tipo de filtro, ni aireador con incluso aguas estáticas a condiciones que reciban suficiente luz ya sea natural o alguna rampa luminiscente.

- **Reproducción**

La forma habitual en que esta especie perpetua es la reproducción vegetativa a través del método de gemación o propagación que, se puede explicar de manera burda en que la formación de diminutos brotes que se asemejan a la plante madre llegan a separarse, originando reproducción exacta del primer vegetal, haciendo esta acción una espesa alfombra verde. (Arroyave, 2004)

La especie de *Lemna minor* puede llegar a reproducirse en un amplio rango de temperaturas que oscilan entre los 5 °C y los 30 °C, con un crecimiento de forma muy óptima y eficaz entre los 15 °C y 18 °C a un amplio rango de pH, siendo el más óptima para este entre 4.5 y 7.5. Es adaptable a cualquier tipo o condición de iluminación ya sea carente o excesivo de ella. Se reproduce rápidamente mayormente en lugar con aguas calmadas y ricas con nutrientes y minerales como los fosfatos y nitrógenos. Constantemente el hierro es uno de los elementos limitantes para su exitoso y rápido desarrollo. (Arroyave, 2004)

En estanque con bastante espacio o al aire libre se desarrollan con tal rapidez que llegan a cerrar la superficie libre, por lo que de forma periódica debe ser eliminadas o removidas.

- **Utilización**

- a. Puede ser muy útil para el alimento y son un complemento de mucha importancia para la nutrición de los peces *Carassiu* y los *goldfish*, la *Lemna minor* tiene como función la complementación del alimento seco así evita la constipación.
- b. Son mucha utilidad para la tamización de la luz en los tanques tropicales que requieren esta suave iluminación y para que ciertas especies como los *alevines* se oculten debajo de ellas.
- c. Debido a su rápido crecimiento, puede ser utilizado de manera efectiva y adecuada para reducir los niveles de nitratos en el estanque. De la misma forma que sirve como buen indicador de los niveles de nitratos, eso quiere decir que mientras más largo sean las raíces más nivel de nitrato posee.

- d. Asociadas con *Riccias* y *Salvinias* son francamente muy útiles como auxiliares para la reproducción de *Anabántidos*, sirviendo para los nidos de espuma de manera de soporte.
- e. Por ser una planta que asimila de manera eficaz los nutrientes que son liberados cuando se descompone en la materia orgánica que están presentes en las aguas residuales del tipo de consumo humanos son utilizados para los tratamientos de muchas aguas residuales. (Arroyave, 2004)

Mercurio

El elemento químico del tipo mercurio es una sustancia metálica de estado originalmente líquida, sin ningún tipo de olor, de color ligeramente plateado, y de una densidad muy pesada y ligeramente volátil a una temperatura ambiental, se presenta de manera natural en la superficie de la tierra o llamado también la corteza terrestre, se transporta en el medio ambiente por el recurso eólico y el recurso hídrico. Es liberado a medio atmosférico en estado de vapor a través de fenómenos causados por la naturaleza tales como la erupción volcánica, los incendios (naturales y/o causados por el hombre) forestales, el movimiento del sistema hídrico superficial o subterráneo la desintegración de rocas madres y procesos netamente biológicos.

El mercurio en su estado natural puede ser combinado con otras sustancias químicas para formar diversos compuestos inorgánicos de mercurio (tales como acetato mercúrico, cloruro mercúrico, cloruro mercurioso, nitrato mercúrico, óxido mercúrico o sulfuro mercúrico). Algunos autores mencionan que cuando pasas por el ciclo natural, el mercurio se sitúa en los sistemas hídricos, donde múltiples microorganismos acuáticos lo biotransforman en metilmercurio. (Poulin, y otros, 2008)

Según la tabla periódica Con un peso atómico de 200.59 g/mol. En estado sólido es blanco, dúctil y maleable. Su símbolo (Hg) se tomó de su nombre en latín: *hydrargyrum*, que significa plata líquida.

- **Características**

El mercurio es de color de manera general de un gris claro, a semejante bastante a un plateado y muy brillante. Siendo únicamente de los elementos metálicos de estado

líquido siempre y cuando se encuentre en una temperatura ambiente. También es considerado como un metal muy volátil y su dilatación se encuentra parejo a cualquier nivel de temperatura. (Químicos, 2008)

Se llega a solidificar a $-38,87\text{ }^{\circ}\text{C}$, se consigue hervir a una temperatura de $356,95\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ se produce el punto de fusión. (Químicos, 2008)

El nivel de densidad que posee es de $13,59\text{ g/cm}^2$, siendo esto uno de los más elevado. La posibilidad que los ácidos minerales le afecten es mínima. (Químicos, 2008)

A pesar de su estado líquido al ser un metal conduce muy bien la electricidad teniendo así un alto nivel de coeficiente de dilatación térmica. (Químicos, 2008)

Posee un grado de resistividad de $0,957\text{ }^{\circ}\text{mm}^2/\text{m}$, sin embargo, a $-268,88\text{ }^{\circ}\text{C}$ el grado de resistencia desaparece súbitamente. (Químicos, 2008)

Cuando se somete a 7.640 atmósferas ($5.800.000\text{ mm Hg}$) de presión, sufre una transformación en sólido, eligiendo esta presión como medidas extremadamente altas para algún tipo de presión (Químicos, 2008)

En concentraciones de ácido nítrico y en ácido sulfúrico sufre una disolución, no obstante, es muy resistentes a los de tipo álcalis. (Químicos, 2008)

Este metal líquido en su forma natural tiene el lugar 67 de abundancia de los elementos en la corteza terrestre. (Químicos, 2008)

- **Riesgos**

El mercurio es una sustancia metálica no fundamental con altos niveles de toxicidad, que no posee función bioquímica o nutricional alguna. Los métodos biológicos para su erradicación son escasos, y siendo el único metal de estado líquido conocido que se biomagnifica, es decir, que se almacena de manera progresiva a través de la cada alimenticia en las células genéticas. (Weinberg, 2010)

Al existir el mercurio es un gran indicador que hay contaminación por múltiples residuos industriales de plantas que realizan procesos de metales, farmacéuticos o químicos, así también es un indicador de presencia de residuos de pesticidas, herbicidas y fungicidas o compuestos medicinales a través del ingreso al sistema

hídricos agrícola. Los compuestos orgánicos tales como el Fenil y el alquil que son residuos de procesos industriales, son los que mayor presencia tiene en el agua teniendo estos relativamente idénticos niveles y grados de toxicidad que el mercurio elemental y no elemental. (Weinberg, 2010)

- **Concentración establecida por otros países de la región o guías internacionales**

- a. La Ley General de Aguas establece para el Mercurio una de concentración, de 0.01 mg/l, para Aguas destinadas al riego de vegetales de Consumo Crudo y bebida de animales, correspondiente a la clase III.
- b. La Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua de Ecuador, establece para el Mercurio Total un valor de 0.001 mg/l como límite máximo permisible de concentración en aguas destinadas al uso agrícola.
- c. La Norma para el Control de la Calidad de los cuerpos de agua de Venezuela, establece para el Mercurio Total un Valor de 0.001 mg/l como límite máximo de concentración, en aguas destinadas al riego de hortalizas, legumbres consumidas en crudo, cereales, y cultivos arbóreos.
- d. El Anteproyecto de Norma de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de Chile, establece una concentración de 0.1 ug/l de Mercurio en aguas destinadas al riego irrestricto.
- e. La Norma Técnica Nacional para Agua, de Honduras, establece una concentración para el Mercurio de 0.001 mg/l para aguas destinadas al uso agrícola.

- **Análisis o sustento de propuesta nacional**

Se establece una concentración de 0.01 mg/l de mercurio, para aguas destinadas al riego, este valor lo establece la Ley General de Aguas, en su clase III, la cual indica Aguas destinadas al riego de vegetales de consumo crudo y bebidas de animales(. (SUNASS, 2000)citando a la Organización Mundial de la Salud (1995)

Con base a lo mencionado se formuló los siguientes problemas: ¿Cómo es el nivel de fitorremediación de mercurio utilizando *Echhornia crossipes* y *Lemna minor* en una muestra de agua contaminada artificialmente en la ciudad de Trujillo – 2017?; para lo cual tenemos los problemas específicos: ¿Cómo es la capacidad de absorción de *Echhornia crossipes*? y ¿Cómo es la capacidad de absorción de las *Lemna minor*?

Por tal motivo se justificó que el degrado ambiental generado por el sector minero en uno de los 10 países con mayor biodiversidad del mundo ya es visible. El sector minero del Perú, siendo uno de las actividades que más ingreso económico brinda al país, como, también la que más contaminación e impacto produce al medio ambiente con el exceso de uso de metales que se usa para extraer ciertos minerales tales como el oro, plata, zinc, etc. tienden a utilizar productos químicos altamente contaminantes y tóxicos, siendo de ejemplo el cloruro de mercurio, el cianuro, el cromo, etc. que son sustancias químicas que contaminan grandes cantidades de fuentes hídricas y también el suelo de la zona. Las presencias de insumos para la extracción de esta materia prima poseen importantes implicaciones ya que causan efectos negativos y a gran nivel tóxicos afectando así en los seres vivos y en el medio ambiente, ya que son sustancias que se adhieren en los tejidos y la estructura celular de los seres vivos causando así enfermedades y alteraciones al sistema genético, por eso es de suma importancia el realizar su control y monitoreo, su estudio y de ser posible su tratamiento.

La alarmante inquietud por causa de los metales presentes de manera contaminante a los ecosistemas, teniendo en cuenta sus características como son las condiciones bio-acumuladores a grandes niveles de toxicidad y su gran adherencia en el medio ambiente, hacen que la contaminación causada por metales pesados teniendo un alto grado de peligro e importancia para la vida humana y los recursos naturales, siendo los más perjudiciales y de mayor impacto el plomo (Pb), el mercurio (Hg) y el cadmio (Cd).

A causa de las concentraciones altas de metales pesados en el recurso del suelo y del agua pueden ser generadores de un problema de seguridad dentro de la producción de los cultivos, calidad de los alimentos y salud del medio ambiente, además de grandes conflictos debido a la muerte de animales, enfermedades crónico-degenerativas y enfrentamientos entre la industria y la población. (CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN SUELO PROVOCADA POR LA INDUSTRIA MINERA: HEAVY METALS POLLUTION IN SOILS DAMAGED BY MINING INDUSTRY, 2006)

Al realizar el estudio de la consecuencia de la contaminación a causa del mercurio en los seres vivos y en el medio ambiente y también las distintas características que puedan ser encontradas en el medio ambiente, se ha visto en la necesidad de estudiar los medios de remediación y tratamientos que se pueda dar a estos problemas ambiental, por lo tanto, es

necesario saber que para estos métodos de mitigación no se ve de necesidad utilizar instrumentos o maquinarias, uno de las tácticas factibles que la industria minera y población debe tener en cuenta es la fitorremediación de aguas con el fin de llevar acabo, una mitigación de la problemática ambiental actual que se relaciona estrechamente a causa del utilizar el mercurio. No obstante, hay que tener en cuenta que detectar la contaminación por mercurio es muy difícil por medio de los monitores ambientales, por motivo de que estás técnicas de análisis específicos requieren de un costo elevado y los laboratorios especializados que los realizan en el país son muy pocos.

Por lo tanto, nos formulamos las siguientes hipótesis:

H_i: La capacidad de fitorremediación de *Echhornia crossipes* es menor que la capacidad de fitorremediación de *Lemna minor*.

H_o: La capacidad de fitorremediación de *Echhornia crossipes* es mayor que la capacidad de fitorremediación de *Lemna minor*.

Siendo el objetivo general Evaluar el nivel de fitorremediación de mercurio utilizando *Eichhornia crossipes* y *Lemna minor* en un agua contaminada artificialmente en la ciudad de Trujillo.

Y en base a eso los objetivos específicos son:

- Identificar el nivel promedio de absorción que tiene el *Eichhornia crossipes* en tres muestras contaminadas artificialmente con concentraciones de mercurio.
- Identificar el nivel promedio de absorción que tiene las *Lemna minor* en tres muestras contaminadas artificialmente con concentraciones de mercurio.
- Comparar el nivel de absorción que posee *Eichhornia crossipes* y *Lemna minor*, identificando la efectividad de las plantas.

II. METÓDO

2.1. Tipo y diseño de Investigación

Experimental – cuasi-experimental

El diseño de este trabajo de investigación es cuasi-experimental porque estudian el efecto casual de la variable independiente mediante el control preciso de las fuentes de variación, es decir, posee la muestra para la investigación y el testigo en la que las variables independientes son manipuladas porque estas aún no suceden, es decir que las inferencias que existe entre las relaciones de variables se ejecutan con intervención alguna o influencia directa.

2.2. Población, muestra y muestreo

- **Población**

Para la población se trabajó con aguas provenientes de la ciudad de Trujillo, agua de grifo para después ser contaminada artificialmente con cloruro de mercurio.

- **Muestra**

En la muestra se utilizó un total de 24 litros de agua.

- **Muestreo**

Se distribuyó respectivamente los litros de agua de la siguiente manera: 3 litros para una *Echhornia crossipes* contaminado artificialmente con cloruro de mercurio a 3 ppm y 3 litros para *Lemna minor* contaminado artificialmente con cloruro de mercurio a 3 ppm en tres series diferentes y luego el restó sirvió como testigo dividiendo 3 litros en partes iguales para cada planta.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

a. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica que se usó para realizar la investigación fue la técnica de observación, utilizando como ayuda y guía la ficha de observación en el cual consiste en almacenar y sistematizar información acerca de una acción o fenómeno social que posee una conexión con el problema motivando a la investigación.

El instrumento a usar fue la ficha de observación por el cual se registraron todos los datos obtenidos, teniendo en cuenta los puntos de la ficha:

- El investigador tiene un plan referente a qué variables observar.

- No es indispensable la incorporación del investigador a la vida del grupo involucrado en el hecho.
- Permite poner a prueba más adecuadamente la hipótesis referente al problema (motivo de investigación).
- El investigador tiene un plan de seguimiento del hecho que observa.

La validez que se describió fue de contenido ya que las muestras reflejaron un cambio significativo en la concentración de contaminante, mientras que los métodos de análisis de datos empleados fueron paramétricos.

b. Validez y confiabilidad

Los datos fueron tomados por equipos y personal respectivamente calificada del laboratorio, el cual brindó una garantía de fiabilidad y validez, por otro lado, el análisis fue realizado por una misma persona, para no variar error en el proceso.

Pruebas paralelas:

Se aplicó dos formas (con contenido, medidas y varianzas iguales) de una prueba en el mismo día al mismo grupo de individuos y se correlacionó los resultados obtenidos; la unidad de medida es partes por millón(ppm) de mercurio(hg) que se utilizará al analizar el grado de contaminación que posee las muestras obtenidas en la provincia de Trujillo - La Libertad. Es una investigación de tipo experimental- correlacional. La población son los 3 litros de agua extraídos de la población de Centro de Trujillo – Trujillo contaminada artificialmente a 3 partes por millón. El muestreo fue realizado en un grifo de tres casas al azar y según el Decreto Supremo N°031-2010-SA, que indica que se debe realizar como mínimo 3 muestreos para conocer la calidad del agua. Los datos fueron tomados por equipo y personal respectivamente calificada del laboratorio, el cual brindó una garantía de fiabilidad y validez, por otro lado, el análisis fue realizado por una misma persona, para no variar error en el proceso.

2.4. Procedimiento

El método se realizó a través de la recolección de datos siendo obtenida mediante evaluaciones con un espectroscopia de absorción atómica y se utilizó la fórmula de concentración de una solución para tener el peso exacto en gramos del cloruro de mercurio para agregar a los 3 litros de agua de cada planta y llegar a 3 ppm, después se tuvo que sacar

el peso seco de las plantas para tener una línea base para los cambios característicos significativos para después graficar el nivel de fitorremediación y los cambios de las plantas.

2.5. Método de análisis de datos

El trabajo de investigación fue de tipo aplicativo y de nivel experimental y de nivel paramétrico ya que se presuponen distribuciones particulares de la variable aleatoria, o bien sus hipótesis especifican parámetros o distribuciones, debido a que se trabaja con variables las cuales fueron alteradas para obtener un resultado final y plantear de este modo una respuesta crucial a la hipótesis, El diseño de la investigación fue $X_m - R_v = V$, donde V cumplió papel de testigo; X_m la primera muestra y R_v la segunda.

2.6. Aspectos éticos

El autor de esta investigación se compromete en ser responsable y asumir con todos los gastos que sean necesarios en el desarrollo del Proyecto de Investigación, por lo cual es viable, ya que se puede llevar acabo con total normalidad porque cuenta con los recursos, humanos tecnológicos y financieros necesarios para su ejecución y no atenta ante alguna entidad religiosa ni política y ayuda a preservar y respetar el medio ambiente y la biodiversidad.

III. Resultados

3.1. Análisis de concentraciones:

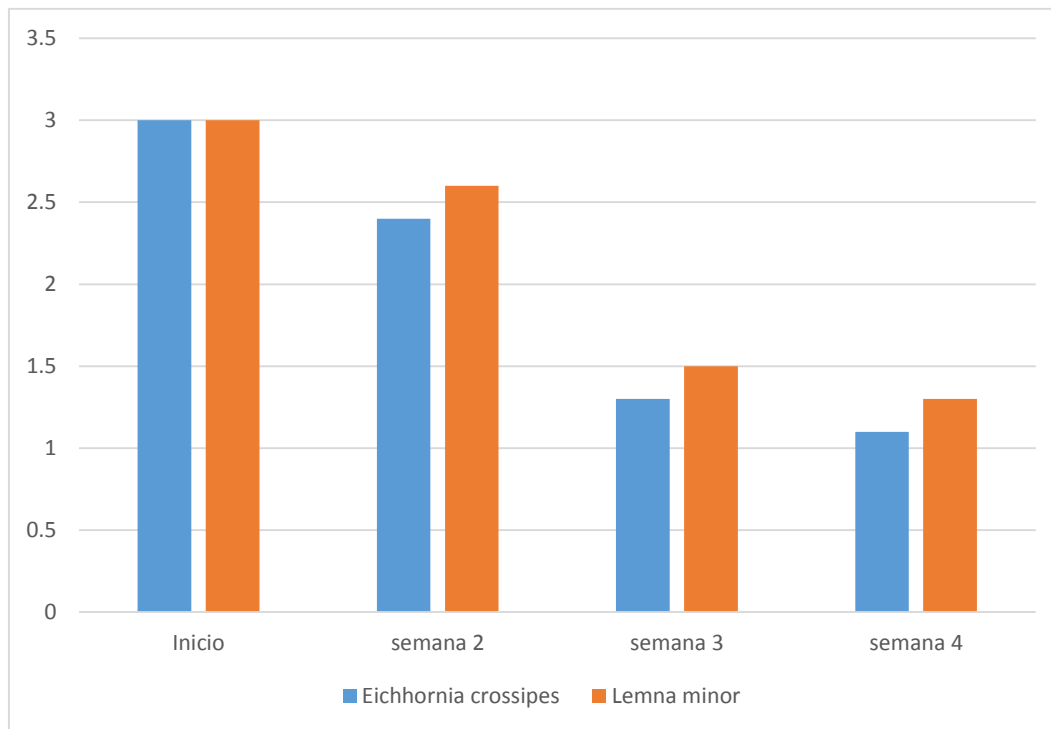


Figura 4: Nivel de absorción de la primera serie

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

La planta *Eichhornia crossipes* en su primera muestra posee un grado de absorción mayor que *Lemna minor* variando desde la primera semana de 3 ppm hasta la cuarta semana hasta 1.1 ppm (*Echhornia crossipes*) y 1.3 ppm (*Lemna minor*). Alcanzando una diferencia promedio de 0.2 ppm en todas las semanas analizadas.

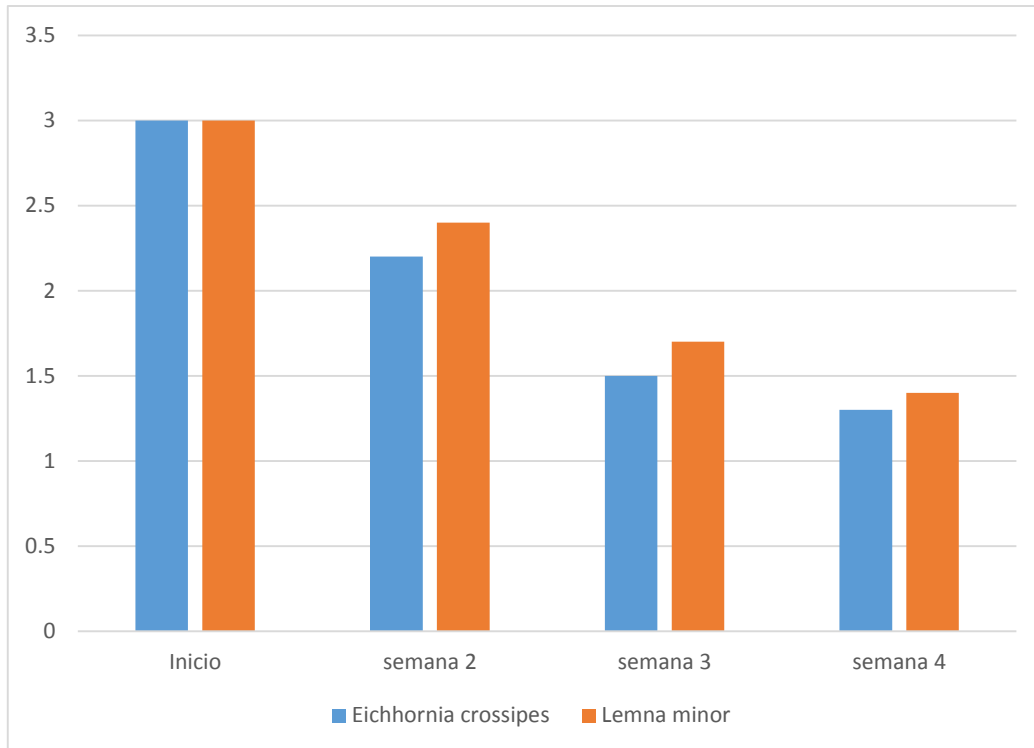


Figura 5: Nivel de absorción de la segunda serie

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

La planta *Eichhornia crossipes* en su primera muestra posee un grado de absorción mayor que *Lemna minor* variando desde la primera semana de 3 ppm hasta la cuarta semana hasta 1.3 ppm (*Echhiornia crossipes*) y 1.4 ppm (*Lemna minor*). Alcanzando una diferencia promedio de 0.17 ppm en todas las semanas analizadas.

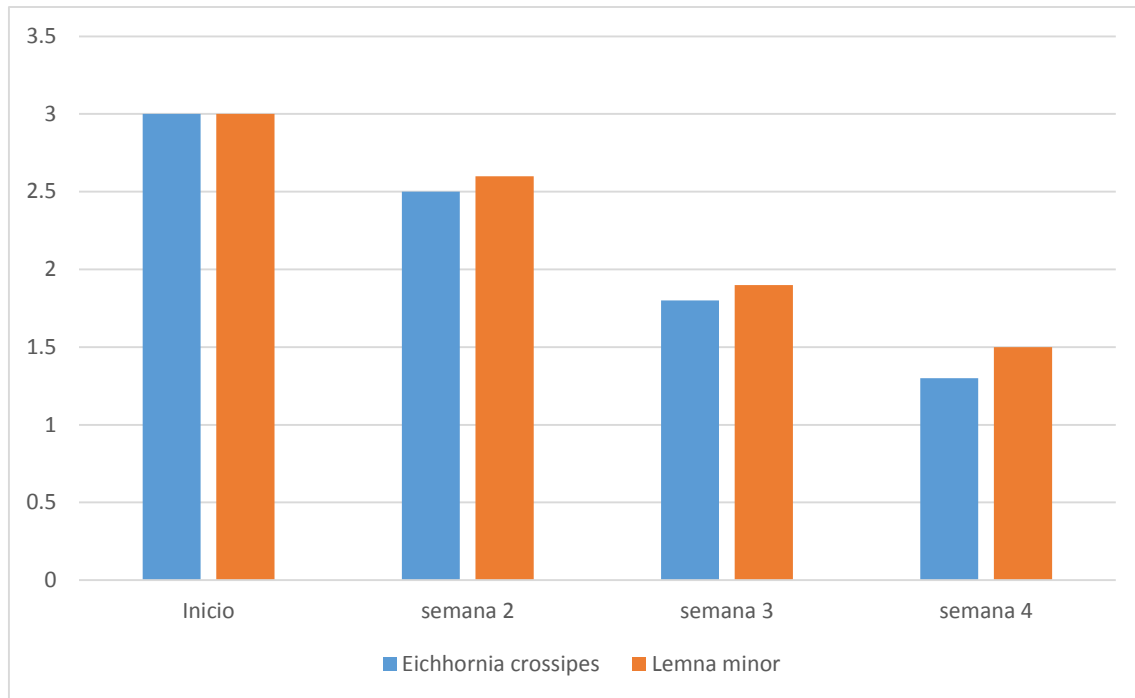


Figura 6: Nivel de absorción de la tercera serie

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

La planta *Eichhornia crossipes* en su primera muestra posee un grado de absorción mayor que *Lemna minor* variando desde la primera semana de 3 ppm hasta la cuarta semana hasta 1.3 ppm (*Echhiornia crossipes*) y 1.5 ppm (*Lemna minor*). Alcanzando una diferencia promedio de 0.13 ppm en todas las semanas analizadas.

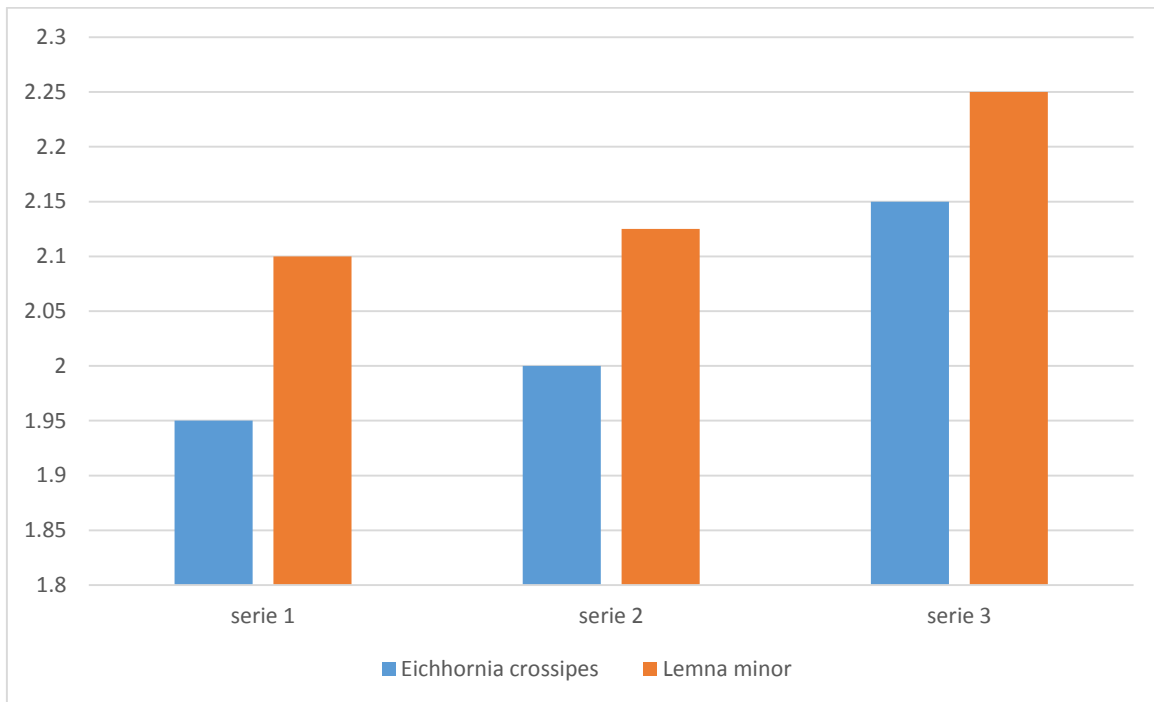


Figura 7: Grafico comparativo del nivel de absorción de ambas plantas.

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: En una variación de la planta *Eichhornia crossipes* ha disminuido en la primera serie un promedio desde 3 ppm en todas las series hasta 1.95 ppm en la primera serie, en segunda serie 2 ppm y en la tercera serie 2.15 y en *Lemna minor* un promedio desde 3 ppm en todas las series, de 2.1 en la primera serie, 2.125 en la segunda serie y 2.25 en la tercera serie.

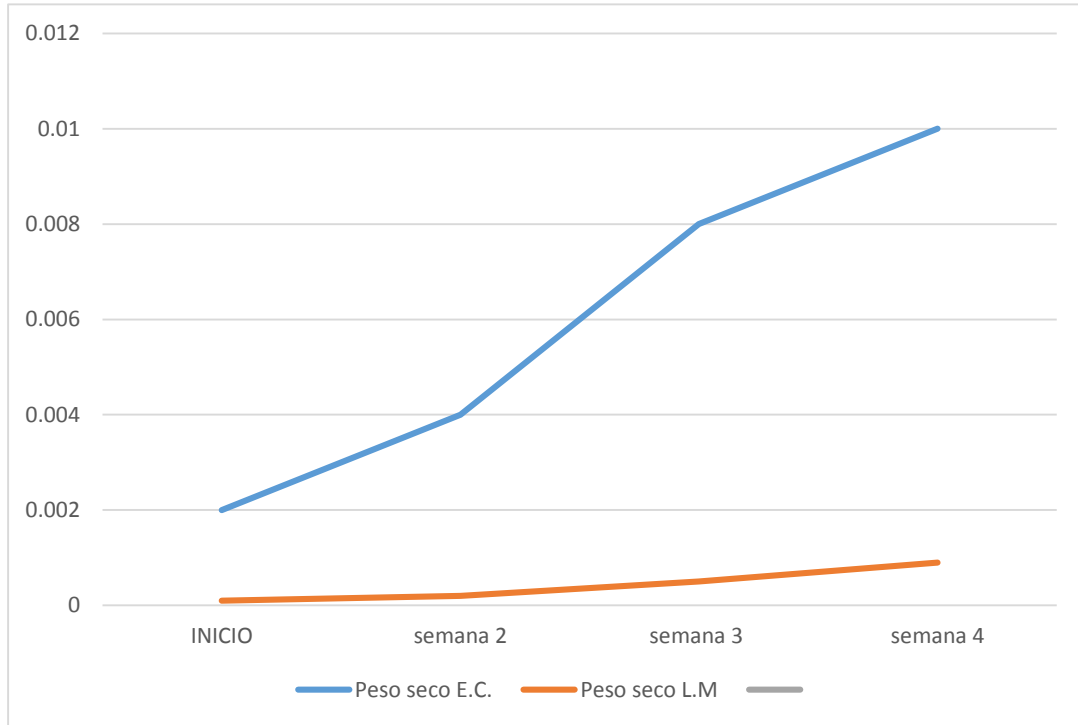


Figura 8: Peso seco de las hojas de E.C y L.M de la primera serie

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

Según el peso seco de la primera muestra obtenida en cuatro semanas nos indica que *echhiornia crossipes* posee un grado de absorción más que *Lemna minor* ya que el indicador de peso seco de la planta en sus hojas es mayor.

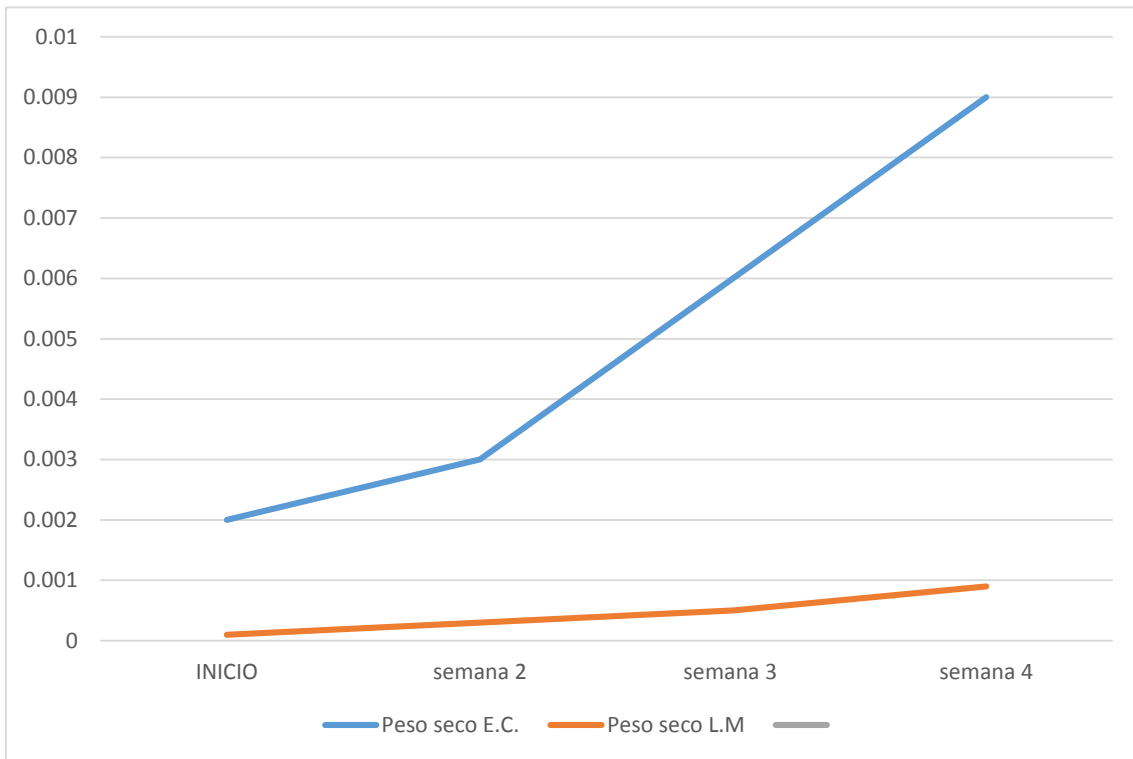


Figura 9: Peso seco de las hojas de E.C y L.M de la segunda serie

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

Según el peso seco de la primera muestra obtenida en cuatro semanas nos indica que *echhiornia crossipes* posee un grado de absorción más que *Lemna minor* ya que el indicador de peso seco de la planta en sus hojas es mayor.

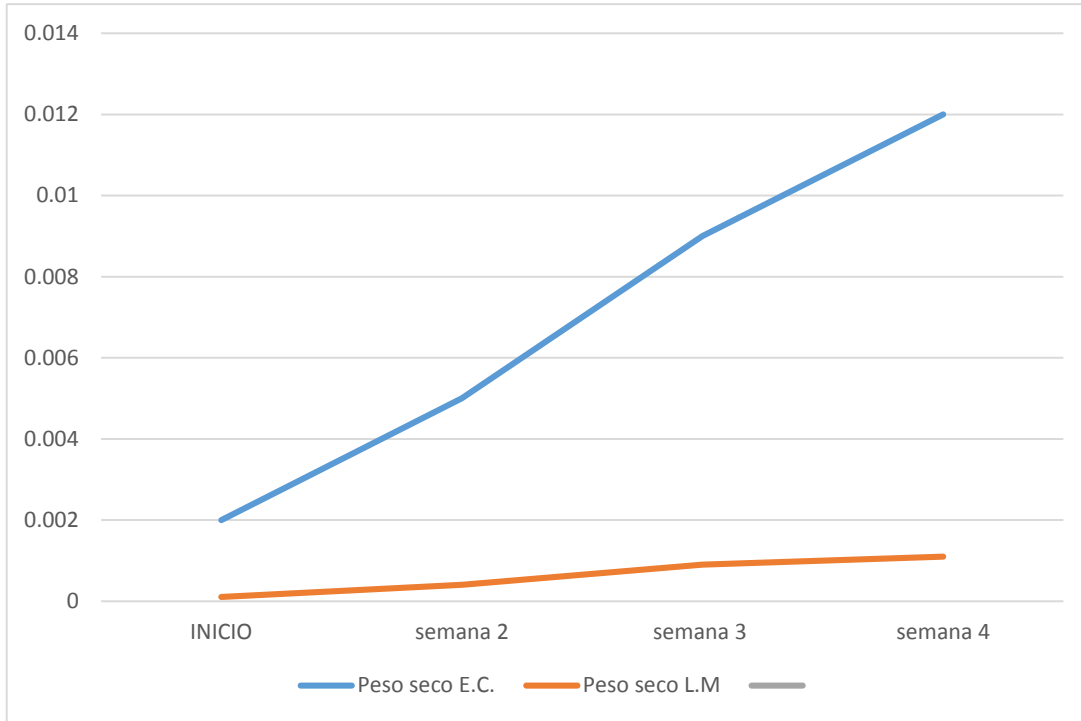


Figura 10: Peso seco de las hojas de E.C y L.M de la tercera serie

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

Según el peso seco de la primera muestra obtenida en cuatro semanas nos indica que *echhiornia crossipes* posee un grado de absorción más que *Lemna minor* ya que el indicador de peso seco de la planta en sus hojas es mayor.

Tabla 1. Análisis de varianza de la muestra 1

Análisis de varianza de un factor		MUESTRA 1				
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Columna 1	3	4.8	1.6	0.49		
Columna 2	3	5.4	1.8	0.49		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.06	1	0.06	0.1224489 8	0.7440413 4	7.7086474 21
Dentro de los grupos	1.96	4	0.49			
Total	2.02	5				
<p>La probabilidad (0.744) es de mayor nivel al 0.05 por ende la hipótesis nula es aceptada, por tal motivo que lo correcto es decir que no existe diferencia significativa alguna entre los tratamientos.</p>						

Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Análisis de varianza de la muestra 2

Análisis de varianza de un factor				MUESTRA 2		
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	3	5	1.666666 67	0.223333 33		
Columna 2	3	5.5	1.833333 33	0.263333 33		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.041666 67	1	0.041666 67	0.171232 88	0.7002433 3	7.708647 42
Dentro de los grupos	0.973333 33	4	0.243333 33			
Total	1.015	5				
<p>La probabilidad (0.700) es de mayor nivel al 0.05 por ende la hipótesis nula es aceptada, por tal motivo que lo correcto es decir que no existe diferencia significativa alguna entre los tratamientos.</p>						

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Análisis de varianza de la muestra 3.

Análisis de varianza de un factor				MUESTRA 3		
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Columna 1	3	5.6	1.866666 67	0.363333 33		
Columna 2	3	6	2	0.31		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.026666 67	1	0.026666 67	0.079207 92	0.7923329 8	7.708647 42
Dentro de los grupos	1.346666 67	4	0.336666 67			
Total	1.373333 33	5				
<p>La probabilidad (0.792) es de mayor nivel al 0.05 por ende la hipótesis nula es aceptada, por tal motivo que lo correcto es decir que no existe diferencia significativa alguna entre los tratamientos.</p>						

Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIONES

En las figuras de niveles de absorción muestra que el nivel de mercurio presente en las muestras existe una amplia variación de niveles de concentración a causa de las dos plantas, dando a entender que, no existe una diferencia significativa para poder minimizar la concentración de metales. Esto es corroborado por (Coronel, 2016) .

Así mismo de los resultados obtenido se resalta que aunque *Lemna minor* posee un grado de remediación menor que *Eichhornia crassipes*, siguen teniendo el nivel de efectividad para la remoción ya que la diferencia es mínima, sin embargo las características de ambas plantas son diferentes como el entorno como propias, oscila entre cambio de temperatura, la disminución de nutrientes, la proliferación de plantas, siendo comprobado por (García, 2012) y también en la investigación de (Coronel, 2016).

Los resultados de los tratamientos obtenidos muestran que son buenos removedores de parámetros físicos, no obstante *Eichhornia crassipes* obtuvo mejores remociones que *Lemna minor*, así lo reafirma (Coronel, 2016); esto (Celis, y otros, 2005) ostentan que se debe a que *Eichhornia crassipes* tiene un sistema de raíces, que poseen microorganismos en ellas, lo que le facilita remover y absorber ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos y disminuir los niveles de contaminación.

Para la remoción de cloruros los tratamientos con estas especies de plantas son muy eficaz, ya que remueven grandes porcentajes, siendo estos datos obtenidos reforzados por (British Columbia Ministry of Environment, 2003)

V. CONCLUSIONES

- Según los resultados, el nivel promedio de absorción que tiene la planta *Eichhornia crossipes* en tres muestras de tres litros de agua contaminada artificialmente con concentraciones de mercurio es de 1.77 ppm (partes por millón).
- De acuerdo con los resultados obtenidos, el nivel promedio de absorción que tiene la planta *Lemna minor* en tres muestras de tres litros de agua contaminada artificialmente con concentraciones de mercurio es de 1.6 ppm (partes por millón).
- Según el análisis estadístico realizado por el método de varianza (que afirma la hipótesis nula), la planta *Eichhornia crossipes* es más efectiva en cuanto a la capacidad de absorción de mercurio que la planta *Lemna minor*, debido a que existe 0.17 ppm de diferencia entre ambas.

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Promover el proyecto realizado para que de esa manera las entidades públicas y privadas inviertan e implmenten esta técnica que reduce los costos y se desarrolla de forma ecológica.
- ✓ Proteger y conservar estas especies vegetales, ya que representan una gran oportunidad para reducir la contaminación hídrica y tratar el agua naturalmente.
- ✓ Innovar en la creación de la acuicultura de estas plantas acuáticas, de esa manera se fundaría un negocio que con el tiempo puede ser rentable, ya que algunas o muchas PTAP lo requerirían y solicitarían para disminuir sus costos.

VII. REFERENCIA

Arroyave, María del Pilar. 2004. La lenteja de agua (Lemna minar): una planta promisoría. [aut. libro] María del P. Arroyave. *La lenteja de agua (Lemna minar): una planta promisoría*. Medellín : Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2004.

British Columbia Ministry of Environment. 2003. *Ambient Water Quality Guidelines for Chloride*. s.l. : Lands and Parks, 2003.

Celis, José, Junod, Julio y Sandoval, Marco. 2005. *RECIENTES APLICACIONES DE LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CON PLANTAS ACUÁTICAS*. Chillán : Universidad de Concepción, 2005. Vol. I. ISSN 0717-196X.

CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN SUELO PROVOCADA POR LA INDUSTRIA MINERA: HEAVY METALS POLLUTION IN SOILS DAMAGED BY MINING INDUSTRY. Puga, Soraya, y otros. 2006. 1,2, Lima : ECOLOGÍA APLICADA, 2006, Vol. V. ISSN 1726-2216.

Cook, C.D. y Gut, B.J. 1974. *Water plants of the world: A manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes*. . Netherlands : Kluwer Academic , 1974. ISBN: 9789061930242.

Coronel, Elver. 2016. *EFICIENCIA DEL JACINTO DE GUA (Eichhornia crassipes) YLENTEJA DE AGUA (Lemna minor) EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS - CHACHAPOYAS*. Chachapoyas : s.n., 2016.

García, Z. 2012. *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas* . Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2012.

León, Mónica y Lucero, Ana M. 2009. ESTUDIO DE Eichhornia crassipes, Lemna gibba y Azolla filiculoides EN EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN SISTEMAS COMUNITARIOS Y UNIFAMILIARES DEL CANTÓN COTACACHI. IBARRA : UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, 2009.

Linnaeus, Carl. 1753. *Species Plantarum*. Estocolmo : Laurentius Salvius, 1753. OCLC 186272535.

MACRÓFITAS FLOTANTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES; UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE. Martelo, Jorge y Lara, Jaime A. 2012. 15, Bogotá : Ingeniería y Ciencia, ing. cienc. , 2012, Vol. 8. ISSN 1794-9165.

Poulin, Jessie y Gibb, Herman. 2008. *Mercurio: Evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local*. Ginebra : Salud pública y medio Ambiente, 2008. ISBN 978 92 4 359657 0.

Químicos, Programa Nacional de Riesgos. 2008. Mercurio: Cartilla de Información. Buenos Aires : Departamento de Salud Ambiental, 2008.

Solms-Laubach, hermann. 1883. *Monographiae Phanerogamarum*. Oxford : Clarendon Press, 1883.

SUNASS. 2000. Parámetros de Calidad y Límites Máximos Permisibles. *sunass.gob.pe*. [En línea] 2000. [Citado el: 17 de Septiembre de 2017.]

[http://www.sunass.gob.pe/doc/normas%20legales/legisla%20web\(cambio\)/normas/calidad%20de%20agua/Oficio%20677.pdf](http://www.sunass.gob.pe/doc/normas%20legales/legisla%20web(cambio)/normas/calidad%20de%20agua/Oficio%20677.pdf). 677-2000/SUNASS-INF.

Weinberg, Jack. 2010. Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONG. *Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONG*. s.l. : Red Internacional de Eliminación de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (IPEN), 2010.

ANEXOS

Tabla 4. Variables – operacionalización

Objetivo General	Hipótesis	Variables	V. Conceptual	V. Operacional	Dimensión	Indicadores	
Evaluar el proceso de fitorremediación mediante el proceso de análisis de absorción de mercurio utilizando <i>Eichhornia crossipes</i> y <i>Lemna minor</i> en un agua contaminada artificialmente en la ciudad de Trujillo	La capacidad de absorción de mercurio por <i>Eichhornia crossipes</i> es mucho mayor que la de <i>Lemna minor</i> .	Capacidad de absorción de <i>Eichhornia crossipes</i> y <i>Lemna minor</i>	Membrana celular del Jacinto de agua el cual los solutos atraviesan la membrana	Balanza	Crecimiento	Peso seco	
			Membrana celular de las lentejas de agua el cual los solutos atraviesan la membrana	Balanza		Peso seco	
			Concentración de mercurio	Cuantificación de partes por millón de la concentración de mercurio en el agua	Espectroscopia de absorción atómica	concentración	ppm

Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Población y muestra

Tipo de investigación	Nivel de investigación	Diseño	Población	Muestra
<p>Básico – aplicado</p> <p>El tipo de investigación es aplicado porque busca la implementación de conocimientos y aplicación directa a los problemas de contaminación de aguas por metales pesados, principalmente por mercurio.</p>	<p>Experimental</p> <p>El nivel de investigación es experimental porque presenta un proceso sistemático aplicando el método y con enfoque científico a la investigación, por ende, se va a manipular dos variables una libre de dependencia y otra que dependerá directamente de la independiente.</p>	<p>Experimental – cuasi-experimental</p> <p>El diseño de este trabajo de investigación es cuasi-experimental porque estudian el efecto casual de la variable independiente mediante el control preciso de las fuentes de variación, es decir, posee la muestra para la investigación y el testigo.</p> <p>Simbología</p> <p>$X_m - R^v = V$</p> <p>$X_m - R^v = V$</p> <p>$X_m - = V$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 20 cm de lentes de agua • 3 u de Jacinto de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • 20 cm de lentes de agua • 3 u de Jacinto de agua <p>Fórmula</p> <ul style="list-style-type: none"> • ESPECTOFOTOMETRÍA: <p>$Y = ax + b$</p> <p>Donde:</p> <p>Y= observancia</p>

				<p>X= concentración</p> <ul style="list-style-type: none">• GRAVIMETRÍA: $\%A = \frac{MA}{Nm} \times 100$ <p>Donde:</p> <p>A: analítico</p> <p>Ma: Masa analítica</p> <p>Nm: masa muestra</p>
--	--	--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: elaboración propia

