



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS  
CONTAMINADAS CON MERCURIO UTILIZANDO  
*Eichhornia crassipes*, CAJAMARCA-2020”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Autoras:

Betsy Lorena Ambrocio Sernaque

Gina Marianella Quiroz Briones

Asesor:

M.Cs. Juan Carlos Flores Cerna

Cajamarca - Perú

2021

## DEDICATORIA

Mi tesis lo dedico a mis padres, personas especiales en mi vida, que con sus palabras de aliento me ayudaron a ser perseverante ante las adversidades que se presentaban a lo largo de este camino y así cumplir con mis ideales. A mi esposo, por estar conmigo en las buenas y en las malas brindándome todo su apoyo y comprensión para lograr esta meta trazada. A mi hija por ser mi fuente de inspiración y motivación para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor. A ellos, mi eterno amor y gratitud.

**Betsy**

La presente está dedicada A Dios y La Virgen Guadalupe, por protegerme e iluminarme, por darme la fe y la esperanza para lograr esta meta trazada.

A mis padres, por ser mi principal motor para ser una persona de provecho a través de sus consejos, enseñanzas y apoyo incondicional. A mi esposo, por estar conmigo en los momentos buenos y malos, por enseñarme a luchar por los sueños. Y en especial para mi angelito que desde el cielo velara mis pasos y a mi princesa que ya está próxima su llegada.

**Gina**

## AGRADECIMIENTO

Damos las gracias a Dios y a la Virgen de Guadalupe, por estar con nosotras en cada paso, iluminándonos y encaminando nuestra fe para seguir adelante, cruzando en nuestro camino a personas que han sido nuestro soporte y compañía durante todo el periodo de estudio. Agradecemos a los docentes de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte, de manera especial al Ing. Juan Carlos Flores Cerna, asesor de nuestra tesis, quien con su experiencia profesional ha guiado la elaboración de ésta y a todos quienes con sus aportes han ayudado a formarme profesionalmente para así poder desarrollarnos en el campo laboral de la carrera.

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
TABLA DE CONTENIDOS .....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
RESUMEN .....	8
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
1.1. Realidad problemática .....	9
1.2. Formulación del problema .....	22
1.3. Objetivos.....	23
1.4. Hipótesis .....	23
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA .....</b>	<b>24</b>
2.1. Tipo de investigación. ....	24
2.2. Población y muestra .....	24
2.3. Materiales, instrumentos, reactivos, presupuesto y métodos .....	24
2.4. Procedimiento.....	26
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>52</b>
5.1. Discusión .....	57
5.2. Conclusiones.....	60

**REFERENCIAS ..... 62**

**ANEXOS ..... 66**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición del Jacinto.....	22
Tabla 2. Sub clasificación Vegetal de la <i>Eichhornia crassipes</i> .....	27
Tabla 3. Especificaciones de contenedores de vidrio. ....	27
Tabla 4. Recolección de datos de condiciones de lugar. ....	28
Tabla 5. Cálculos de masa molar.....	29
Tabla 6. Porcentaje de aporte de elementos .....	29
Tabla 7. Codificación y etiquetado de contenedores.....	32
Tabla 8. Código de muestreo, muestra 1 a 11 .....	34
Tabla 9. Código de muestreo, muestra 12 a 24 .....	35
Tabla 10. Informe de laboratorio.....	45
Tabla 11. Resultados de concentración de mercurio en el agua.....	47
Tabla 12. Resultados de biosorción en planta .....	48
Tabla 13. Información de factor .....	54
Tabla 14. Análisis de varianza.....	54
Tabla 15. Resumen de modelo. ....	54
Tabla 16. Prueba anova entre resultados de fitorremediación y medio de tratamiento .....	55
Tabla 17. Prueba anova entre resultados de fitorremediación y tiempo.....	56
Tabla 20. Etiquetas para muestra de agua .....	76
Tabla 21. Etiqueta para muestra de planta.....	76
Tabla 22. Etiqueta para muestra de planta.....	77
Tabla 23. Ficha de recolección de datos.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Uso de balanza analítica.....	30
Figura 2. Dilución de nitrato de mercurio .....	31
Figura 3. Uso de estufa.....	31
Figura 4. Aforo y diseño del sistema.....	36
Figura 5. Muestreo de agua MAI – 1 }.....	37
Figura 6. Muestreo de agua MAI - 2 .....	37
Figura 7. Armado y llenado de contenedores .....	38
Figura 8. Variaciones de pH.....	38
Figura 9. pH del medio alcalino de trabajo .....	39
Figura 10. pH del medio neutro de trabajo.....	39
Figura 11. pH del medio ácido de trabajo .....	40
Figura 12. Muestras MP-1 Y MP-2 – plantas.....	40
Figura 13. Bomba acuario 300 L / hora.....	41
Figura 14. Etiquetado de contenedores. ....	41
Figura 15. Puesta en marcha de los sistemas de análisis .....	42
Figura 16. Primer día de funcionamiento de los sistemas .....	42
Figura 17. Muestreo de plantas a los 5 días de fitorremediación .....	43
Figura 18. Monitoreo de agua a los 5 días de fitorremediación .....	43
Figura 19. Muestreo de plantas y envío a laboratorio .....	44
Figura 20. Muestreo de agua y envío a laboratorio .....	44
Figura 21. Concentración en mg/L de mercurio en medio alcalino .....	49
Figura 22. Concentración en mg/L mg/L de mercurio en medio ácido.....	50
Figura 23. Concentración en mg/L mg/L de mercurio en medio neutro .....	51
Figura 24. Comparación en mg/L de mercurio en medio acido, alcalino y neutro .....	52
Figura 25. Concentración en mg/kg de mercurio en plantas durante la fitorremediación..	53

## RESUMEN

La presente investigación plantea el uso de la fitorremediación como técnica de menor impacto, haciendo uso de macrófitas hiperacumuladoras en el tratamiento de agua contaminada por mercurio, tiene como objetivo general de investigación fitorremediar aguas contaminadas por mercurio usando *Eichhornia crassipes*, buscando principalmente determinar la concentración de mercurio en el agua y en la planta antes y después de la fitorremediación en medio ácido, básico y neutro para lo cual se empleó una metodología de tipo aplicada, de carácter cuasi experimental, causal, de enfoque cuantitativo, el sistema de experimentación consistió en contenedores de vidrio con sistema de flujo continuo que garanticen el movimiento de las aguas en las cuales se introdujo agua contaminada por mercurio a 0,1 mg/L y se fitorremedió utilizando *Eichhornia crassipes*, se obtuvo como principales resultados una fitorremediación superior a 90 % de Hg (II) en un periodo de 15 días a 0,1 mg/L en ambientes controlados de agua en movimiento, también se determinó que la fitorremediación en los diferentes medios de aplicación, estadísticamente no tiene diferencia significativa al obtenerse un valor de probabilidad asociada de 0,48 al igual que la probabilidad en función del tiempo con un valor de  $p = 0,262$ .

**Palabras clave:** Fitorremediación, pH, mercurio, agua. macrófitas



## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La contaminación por mercurio (Hg) a nivel mundial es un problema de importancia por sus efectos sobre la salud humana y por su repercusión sobre la contaminación del medio ambiente. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, 2005)

El mercurio es el único metal no esencial tóxico que se presenta líquido a la temperatura ambiente. Es sumamente volátil, muy persistente en el ambiente y transferible a los medios acuáticos o atmosférico debido a las distintas conformaciones de especies metálicas altamente reactivas. Por otra parte, tiene una alta capacidad para formar compuestos orgánicos e inorgánicos. (Reyes et al.,2016)

Según PNUMA (2005), al ponerse en contacto con un ambiente acuático, el mercurio se transforma en metilmercurio, un potente neurotóxico que se acumula, por medio de la cadena trófica, en los peces y en los humanos y fauna silvestre que de ellos se alimentan, es por ello la peligrosidad al generarse derrames de mercurio al medio ambiente.

A nivel nacional la minería irresponsable, informal y artesanal genera mucho daño ambiental en el Perú; extrayendo como producto principal el oro, el peligro en dicha extracción radica en la utilización del mercurio para el lavado del mineral generando riesgos para la salud del hombre, así como para el medio ambiente, además del hecho que no exista un tratamiento adecuado de sus aguas residuales al volverlos a sus cauces dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) (Instituto Nacional de la Salud INS, 2012).

El empleo de tecnologías de remediación con el uso especies vegetales, conocidas como fitorremediación, aún no ha sido explotada en países en vías de desarrollo, pues

la experimentación en especies vegetales genera tiempo y costo a empresas que busca solo el auge económico, además que no existen normas ambientales rígidas que parametrizen los daños ambientales que estas generan. (Poma, 2014).

Es por ello que se plantea el uso de la especie como la *Eichhornia crassipes* "Jacinto de agua", que es un macrófito flotante tropical y subtropical es de uso particular en la reducción de carga de nutrientes y metales pesados como el Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Mercurio Hg (Muramoto y Oki, 1983; Cordes et al., 2000) y constituye una herramienta complementaria de muy bajo costo y apropiada bajo el enfoque de recuperación de sistemas de humedales artificiales por su alta tolerancia fisiológica en el tratamiento de aguas residuales (Predes, 2015), a fin de conocer las condiciones óptimas de crecimiento vegetal en el humedal dentro del marco de manejo eficiente de esta especie.

Para lo cual la presente investigación tuvo como principales antecedentes a:

**Poveda, A y Velasteguí, R. (2014).** En su investigación titulada “Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua, Ecuador”, Analizó el porcentaje de incidencia de las aguas residuales sobre las especies acuáticas investigadas tomando datos semanales del número de hojas verdes y estado normal. Para la determinación del porcentaje de producción de biomasa se tomó datos semanales del peso seco. Los cálculos estadísticos se realizaron con el programa estadístico Statgraphics.

La investigación permitió concluir que el “Jacinto de agua” o “lechuguín” (*Eichhornia crassipes*) y la “Lenteja de agua” (*Lemna spp.*), fueron las plantas acuáticas flotantes más promisorias como herramientas que contribuyan a la fitorremediación de aguas residuales. Cabe señalar que en el caso del agua residual industrial *Eichhornia*

*crassipes* fue la mejor especie, mientras que en el agua residual de uso agrícola las dos especies *Lemna spp.* y *Eichhornia crassipes* mostraron resultados similares; es por ello que al ver las propiedades fitorremediadoras de la *Eichhornia crassipes* se toma interés en aplicar esta técnica en la fitorremediación de mercurio.

Otro antecedente de gran importancia es:

**Cortez, P y Flores, J. (2017).** En su investigación titulada “Evaluación in vitro de la taruya (*Eichhornia crassipes*) como agente biorremediador en aguas contaminadas con cromo. Cartagena de indias. España”, investigación que sirvió de guía para utilizar la *Eichhornia crassipes*, como agente biorremediador no solo por su potencial en aguas residuales sino por su aplicación en metales pesados.

La investigación tuvo como propósito analizar varias muestras de agua intencionalmente contaminadas con trióxido de cromo y se utilizaron 20 plantas en buenas condiciones para descontaminar dichas muestras; se utilizaron 10 recipientes de vidrio con 8 litros de agua potable, adicionando trióxido de Cromo. Durante 17 días, se llevaron a cabo tres fases: adaptación, nutrición e intoxicación con la solución de cromo, monitoreando el pH y la conductividad del agua. Se determinó la concentración de Cromo en cada recipiente verificando su variación. La *Eichhornia Crassipes* demostró su eficiencia en la remoción del metal pesado, determinándose que la capacidad de absorción de metales en la Taruya se favorece debido al alto porcentaje de Celulosa en las raíces y tallos y por la presencia de grupos hidroxilos que posibilitan la formación de puentes de hidrogeno con sustancias externas. Llevándose a cabo la acumulación de metales pesados por biosorción al interior de la célula para su difusión como ion metálico por la membrana celular, hecho que da certeza al poder de fitorremediación de metales pesados.

Se tuvo como principales antecedentes nacionales a:

**Poma, V y Valderrama, A. (2014).** Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (II) y mercurio (II) con la especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), lima, Perú.

En este trabajo se realizó estudios para medir la capacidad de sorción de los iones metálicos Cd (II) y Hg (II) de la especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua). Este estudio incluye ensayos donde se optimizan concentración de nutrientes, pH y concentración de iones metálicos, lo que se llevó a cabo a temperatura ambiente y con soluciones acuosas de Cd (II) y Hg (II), a las que fueron sometidas las muestras de *Eichhornia crassipes*. Para corroborar la remoción de dichos metales, las soluciones residuales, después de haber sido sometidas con la especie vegetal, fueron tratadas usando el método APHA 3030-e y las muestras de *Eichhornia crassipes* fueron tratadas usando el método EPA 200.3. La concentración de Cd (II) fue determinada por un equipo ICP-OES y la del Hg (II), por un equipo de absorción atómica.

Los resultados obtenidos fueron: Dosis óptima 1mL de A y 0,5 mL de B, pH óptimo 5, concentración óptima de Cd (II) y Hg (II) 5 mg/L para cada ion. Con estos parámetros se inició la remoción de 5 mg/L de los iones metálicos contenidos en 1 litro de solución. Los porcentajes de absorción fueron de 16,56 % para Cd (II) y 15,6 % para el Hg (II) en un periodo de 7 días.

**Benites (2017),** realizó una investigación que se llevó a cabo en la Laguna la Milagrosa, la cual fue titulada “eficacia de las macrófitas jacinto y lenteja de agua para disminuir la concentración de boro”, se evidencio como resultado que se logró disminuir un porcentaje significativo de la concentración del Boro, mas no cumplen con el ECA establecido según el DECRETO SUPREMO N° 004-2017- MINAM, el cual es de 0,5 mg/L, en aguas superficiales destinadas para recreación, sin embargo se

pudo determinar que la macrófita jacinto de agua fue la más eficaz ya que logro disminuir la concentración de Boro a 6.88 mg/L, en tres semanas.

Como principales antecedentes locales se trabajó con:

**Castillo Rojas, E. (2017).** Eficiencia de *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín, Cajamarca.

Quien a partir de su investigación evidenció la eficiencia en la remoción de nutrientes al aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* (PM2) en el sistema de reactores en serie de flujo continuo para el parámetro de nitrógeno total (N) es de 52 %, para el parámetro de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) es de 37 %, para el parámetro de fósforo total (P) es de 31 % y para el parámetro de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) es de 34 %; asimismo, al aplicar un estímulo o tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) en un sistema de reactores en serie con flujo continuo para el parámetro de nitrógeno total (N) es de 61 %, para el parámetro de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) es de 34 %, para el parámetro de fósforo total (P) es de 73 % y para el parámetro de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) es de 68 %; la concentración del oxígeno disuelto en el tanque de distribución (PM1) se registró un valor promedio de 1,48 mgO<sub>2</sub>/L, al aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* (PM2) se registró un incremento a 2,51 mgO<sub>2</sub>/L, además, al aplicar un estímulo o tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) se registró un incremento a 3,06 mgO<sub>2</sub>/L; el parámetro de temperatura en el tanque de distribución (PM1) se registró un valor promedio de 19,02 °C, en el tratamiento con *Lemna sp* (PM2) se registró un valor promedio de 18,74 °C y en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* (PM3) se registró un valor promedio de 18,63 °C; el parámetro de pH en el tanque de distribución (PM1) se registró un valor promedio de 7.66, en el tratamiento con *Lemna sp* (PM2) se registró un valor promedio de 8,08 y en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* (P3) se registró un valor promedio

de 7,25; el caudal utilizado para cada sistema de reactores en serie con flujo continuo es de 0,030 L/min lográndose cumplir con un tiempo de retención hidráulica de 5 días en cada sistema de tratamiento.

Por lo que se llegó a la conclusión final de que el tratamiento con *Eichhornia crassipes* registra las tasas más altas en la remoción de nutrientes considerando sus características fisiológicas propias, por lo que se sugiere realizar estudios de carácter investigativo para afianzar sus eficiencias de esta macrófita, que por su alta tasa en la remoción de nutrientes contribuye a la mejora de la calidad del agua, considerándolo como una tecnología limpia en el tratamiento eficiente y sostenible de las aguas residuales domésticas.

Como principales definiciones conceptuales se tuvo en cuenta el contaminante con el cual se trabajará, la técnica a utilizar y el tipo de planta hiper acumuladora; para lo cual es necesario conocer los siguientes conceptos:

### **Metales pesados**

El metal pesado, se refiere a aquellos metales de la tabla periódica cuyo peso específico es superior a 5 g/cm<sup>3</sup> o que tienen un número atómico por encima de 20, excluyendo generalmente a los metales alcalinos y elementos alcalinotérreos (Breckle, 1991; Tiller, 1989). El término resulta algo impreciso si se tienen en cuenta las propiedades físico-químicas de los elementos, especialmente las propiedades iónicas que definen la capacidad de complejación y las propiedades biológicas. Se han utilizado otros términos como “metal tóxico” o “elemento traza”, sin que ninguno de ellos se refiera a los mismos elementos, resultando igualmente poco satisfactorios. En cualquier caso, de acuerdo con Tiller (1989), parece que el término de “metal pesado” puede ser utilizado de una forma globalizadora para referirse a aquellos metales clasificados como contaminantes ambientales. Los metaloides, por su parte, poseen características

intermedias entre los metales y los no metales de acuerdo con sus propiedades de enlace e ionización. Metaloides como el As, Se o Sb también pueden constituir importantes contaminantes ambientales (Citado por Diez, 2008).

### **Mercurio**

Como lo menciona Martínez (2013), el mercurio (Hg) es un metal pesado, elemento metálico de color plateado que permanece en estado líquido a temperatura ambiente. De entre sus propiedades físico-químicas, cabe mencionar que el Hg tiene un número atómico de 80, un peso atómico de 200,59 g/mol, una temperatura de fusión de -38,87 °C, una temperatura de ebullición de 356,58 °C, a 20 °C su gravedad específica es 13,456 g/ml y la presión de vapor 0,16 Pa. Tiene una elevada tensión superficial, bastante mal conductor del calor y buen conductor de la corriente eléctrica.

#### **Fuentes de contaminación del mercurio.**

Como lo menciona Sarango (2016), Las principales fuentes de contaminación por mercurio al medio ambiente se pueden clasificar en dos grupos:

#### **Fuentes naturales.**

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2005) establece que “las fuentes naturales de mercurio Hg comprenden los volcanes, la evaporación de los sistemas terrestres y acuáticos, la degradación de minerales y los incendios forestales”

#### **Fuentes antropogénicas.**

La contaminación ocasionada por el hombre es realizada de muchas formas: la descarga de desechos y la emisión directa a la atmósfera en la explotación minera del metal y del oro, la quema de los combustibles fósiles representa una fuente importante de contaminación atmosférica, así como la incineración de desechos sólidos, los cuales

incluyen mercurio volatilizado de baterías desechadas y durante la fundición de cobre y zinc Fitzgerald y Clarkson (citado por Olivero y Johnson, 2002). La contaminación con mercurio en las zonas tropicales, particularmente en Brasil, Colombia, Ecuador y Bolivia es originada en los procesos de beneficio del oro, el cual es extraído mezclando la roca triturada enriquecida con el metal precioso con mercurio metálico para formar una amalgama, la cual es presionada con la mano para remover el exceso de mercurio. Este proceso ocasiona el derramamiento directo de grandes cantidades del metal en los ríos y en cuerpos de agua como ciénagas y lagunas. La amalgama mercurio-oro obtenida es quemada usualmente a campo abierto dejando libre el oro y liberando el tóxico metálico en forma de vapor directamente a la atmósfera según Turizo et al. (citado por Olivero y Johnson, 2002).

### **Toxicidad del mercurio en la salud humana**

Como lo menciona Sarango (2016), todas las formas conocidas de mercurio han sido establecidas como tóxicas, la exposición a concentraciones elevadas de Hg puede causar incluso la muerte; el Hg y los compuestos que este metal forma son persistentes y bioacumulativos, por consiguiente, son de gran riesgo para la salud del hombre y la calidad ambiental Brodtkin et al. (citado por Vidal, 2009). Además “la exposición al mercurio en el hombre puede ocurrir a través del consumo de alimentos contaminados (productos vegetales, peces, entre otras), la ingesta de agua y la respiración de aire contaminado” Canuel et al. (citado por Vidal, 2009).

### **Contaminación del agua por mercurio.**

La contaminación del agua por mercurio es producida por industrias químicas que producen cloro, fábricas de fungicidas y de pinturas contra hongos, de plásticos, por minas de cinabrio (sulfuro de mercurio, HgS), en la extracción de oro y de plata por el método de amalgamación y por las refinerías del petróleo (Paredes, 2015).



Se considera que la mitad del mercurio extraído es arrojado al medio ambiente, una parte en forma de vapor a la atmósfera y otra en los desechos industriales al suelo y al agua. Estos desechos contienen mercurio y siguen el curso del agua hasta llegar a los lagos, ríos y hasta el mar, donde pueden incorporarse a las diferentes cadenas alimenticias, reaccionar y transformarse en metilmercurio (Paredes, 2015).

### **Fitorremediación.**

Mentaberry (2011) describe que la fitorremediación puede considerarse como el conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxicar compuestos orgánicos, radiactivos, compuestos inorgánicos y químicos, por medio de la utilización de plantas que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica de absorber, retener, degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas. Para la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 1996), se caracteriza por ser una práctica de limpieza pasiva y estéticamente agradable que aprovecha la capacidad de las plantas y la energía solar para el tratamiento de una gran variedad de contaminantes. En esta técnica las plantas actúan como trampas o filtros biológicos que descomponen los contaminantes o lo metabolizan tal como lo hacen los microorganismos para finalmente convertirlos en compuestos menos peligrosos y más estables, como dióxido de carbono, agua y sales minerales (Peña et al. 2001).

### **Fitorremediación acuática.**

Tradicionalmente, las plantas vasculares acuáticas han sido consideradas como una plaga en sistemas enriquecidos con nutrientes.

Su rápida proliferación puede dificultar la navegación y amenazar el balance de la biota en los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, en la actualidad se considera que estas plantas también pueden ser manejadas adecuadamente y volverse útiles, debido a su

capacidad para remover y acumular diversos tipos de contaminantes (Nuñez et al, 2004).

Además, su biomasa puede ser aprovechada como fuente de energía, forraje y fibra. Los primeros sistemas de tratamiento de aguas residuales a base de plantas se implementaron en los países europeos a principios de 1960, utilizando juncos o carrizos. Desde entonces, los sistemas de fitorremediación acuática se han perfeccionado y diversificado, y su aceptación y aplicación cada vez es mayor. La fitorremediación acuática tiene la ventaja de que se pueden remover, in situ, diferentes tipos de metales que se hallen con bajas concentraciones en grandes volúmenes de agua (Nuñez et al, 2004).

#### **Sistemas de fitorremediación acuática.**

Los sistemas de fitorremediación acuática pueden ser de cuatro tipos (Nuñez et al, 2004):

**Humedales construidos:** se definen como un complejo de sustratos saturados, vegetación emergente y subemergente, animales y agua que simula los humedales naturales, diseñado y hecho por el hombre para su beneficio.

**Sistema de tratamiento con plantas acuáticas flotantes:** pueden ser estanques semiconstruidos o naturales, donde se mantienen plantas flotantes para tratar aguas residuales.

**Sistema de tratamiento integral:** es una combinación de los dos sistemas anteriores.

Sistema de rizofiltración, ya mencionado anteriormente: Se ha demostrado que estos sistemas pueden remover eficientemente fosfatos, nitratos, fenoles, pesticidas, metales pesados, elementos radiactivos, fluoruros, bacterias y virus, de aguas residuales municipales, agrícolas e industriales, incluyendo las industrias: lechera, de pulpa y

papel, textil, azucarera, de curtiduría, de destilería, aceitera, de galvanizado y metalurgia.

### **Tipos de plantas acuáticas**

Con base en sus formas de vida, las plantas utilizadas en los sistemas de fitorremediación acuática se clasifican en tres grupos (Nuñez et al, 2004):

**Emergentes:** la raíz de estas plantas está enterrada en los sedimentos y su parte superior se extiende hacia arriba de la superficie de agua. Sus estructuras reproductoras están en la porción aérea de la planta. Ejemplos: carrizo (*Phragmites communis*), platanillo (*Sagittaria latifolia*) y tule (*Thypha dominguensis*).

**Flotantes:** se subdividen en dos grupos:

a) Plantas de libre flotación (no fijas): sus tallos y hojas se desarrollan sobre la superficie del agua. Sin embargo, sus raíces no están fijas en ningún sustrato y cuelgan en la columna de agua. Sus estructuras vegetativas y reproductivas se mantienen emergentes.

Ejemplos: lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), lenteja de agua (*Lemna spp.* y *Salvinia mínima*).

b) Plantas de hoja flotante (fijas): tienen sus hojas flotando sobre la superficie del agua, pero sus raíces están fijas en los sedimentos.

Ejemplo: nenúfares (*Nymphaea elegans* y *Nymphoides fallax*).

**Sumergidas:** se desarrollan debajo de la superficie del agua o completamente sumergidas. Sus órganos reproductores pueden presentarse sumergidos, emerger o quedar por encima de la superficie de agua. Ejemplos: bejuquillo (*Cerathophyllum demertambién sum*), hidrilla o maleza (*Hydrilla verticillata*) y pastos (*Phyllospadix torreyi*).

### ***Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua).**

*Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) es una planta acuática de libre flotación con hojas en forma de rosetas, soportadas por pecíolos que pueden ser cortos y abultados o largos y delgados, que se desarrollan desde el ápice de un tallo pequeño y vertical llamado rizoma. Cuando se encuentra en aguas poco profundas y oxigenadas, presenta hojas muy pequeñas que sólo alcanzan largos de 8 cm, mientras que, en plantas bien aireadas, especialmente en aguas de flujo continuo, las hojas alcanzan los 125 cm de longitud. La posición de la hoja también varía dependiendo de la especie y condiciones ambientales. Su función principal, al igual que el resto de las plantas, es la fotosíntesis y transpiración producida en sus células superficiales. En el caso particular de *Eichhornia crassipes*, las hojas sirven de velas, conduciéndolas según el viento o la corriente de las aguas. Los tallos florecedores, que crecen a partir del centro de la roseta, producen una inflorescencia vistosa de flores azules con manchas amarillo canario, las cuales se convierten en cápsulas que contienen pequeñas semillas (Sculthorpe 1967).

El sistema de raíces de *Eichhornia crassipes*, representa entre un 20 y 50 % de la biomasa de la planta, la cual dependerá de la estación y del hábitat. El sistema de raíces consta de raíces principales, cubierta por raíces laterales que funcionan como anclaje y además de preservar la estabilidad del rosetón. Al igual que todo órgano sumergido, las raíces deben tener un suministro adecuado de oxígeno disuelto. De esta manera el oxígeno consumido alcanza el tejido interior por difusión a través del gradiente de concentración en la epidermis, pero este suministro puede ser suplementado por difusión desde los sitios de fotosíntesis en el follaje (Sculthorpe 1967).

Dentro de los sistemas depurativos presentado por *Eichhornia crassipes* las raíces son el órgano de mayor importancia, puesto que, a través de ellas, la planta absorbe los

compuestos con algún valor nutritivo necesario para su metabolismo. Al mismo tiempo en la rizósfera, los microorganismos presentes actúan sobre el material orgánico biodegradable, sustancias inorgánicas y sólidos suspendidos, reduciendo su contenido en los medios tratados (Sculthorpe 1967).

La reproducción sexual comienza con el proceso de floración, en el cual las semillas se encuentran en cápsulas a lo largo del tallo de la flor donde cada cápsula puede contener hasta 450 semillas pequeñas. La auto fecundación es la forma más común de reproducción sexuada, aunque la fecundación cruzada debido a la actividad de insectos o por transporte del polen a través del viento, también es factible. En Chile la planta entra en proceso de floración en febrero, en donde ocurren cambios profundos en el metabolismo de la planta orientada a la formación de unidades de dispersión (Pieterse 1978, Véjar et al. 1991).

### ***Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en el tratamiento de aguas residuales.**

Valero (2006), afirma que es una de las especies acuáticas más estudiadas y utilizadas, debido a sus características depuradoras y la facilidad de proliferación especialmente en regiones tropicales y subtropicales. Para García (2012), esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes; poseen un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora, las plantas acuáticas retienen en sus tejidos metales pesados (cadmio, mercurio, arsénico) y además remueve algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, ácido fórmico, colorantes y pesticidas, y disminuye niveles de DBO (demanda biológica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), y sólidos suspendidos. Gracias a su extenso sistema de raíces tiene poder de filtración y capacidad de absorber impurezas y

contaminantes, es resistente a insectos y a las enfermedades; generalmente crece a temperaturas de agua mayores a 10 °C; el componente principal de la planta es el agua (95% de la masa total), factor de gran importancia en su disposición (Romero 2004).

La mayoría de las plantas acuáticas tienen también rizomas, que son estructuras de reproducción vegetativa de las que salen nuevos brotes y que contienen abundante cantidad de hidratos de carbono como sustancia de reserva, estos rizomas se encuentran sumergidos en el agua junto a las raíces y unidos a la base del tallo de procedencia, toda la zona sumergida de la planta tiene una gran superficie específica, debido principalmente al gran número de raíces y raicillas, que actúan de soporte para la fijación de los microorganismos que degradan la materia orgánica, cuyo crecimiento se ve favorecido por el oxígeno que les llega a través de las raíces bombeado desde las hojas de las plantas, la cual es una propiedad específica de las plantas emergentes y flotantes (Fernández et al. 2010).

Tabla 1  
*Composición del Jacinto*

Constituyente	% de masa seca	
	Promedio	Intervalo
Proteína cruda	18,1	9,7 - 23,4
Grasa	1,9	1,6 - 2,2
Fibra	18,6	17,1 - 19,5
Cenizas	16,6	11,1 - 20, 4
Carbohidratos	44,8	36,9 - 51, 6
Nitrógeno total Kjeldahl	2,9	1,6 - 3,7
Fósforo	0,6	0,3 - 0,9

Fuente: Romero (2004).

## 1.2. Formulación del problema.

¿Qué porcentaje se obtuvo al fitorremediar aguas contaminadas con mercurio utilizando *Eichhornia crassipes*?

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo general

Fitorremediar aguas contaminadas por mercurio utilizando *Eichhornia crassipes*, Cajamarca 2020.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

Determinar la concentración al fitorremediar mercurio en el agua, antes y después de la utilizar *Eichhornia Crassipes*.

Determinar la concentración de mercurio en la *Eichhornia Crassipes*, antes y después de la fitorremediación, Cajamarca 2020.

Determinar estadísticamente si existe diferencia entre los resultados obtenidos de la fitorremediación en aguas contaminadas con mercurio utilizando *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en diferentes medios de pH.

### 1.4. Hipótesis

#### 1.4.1 Hipótesis general

La *Eichhornia crassipes* fitorremediará aguas contaminadas con mercurio en un porcentaje mayor a 15%.

#### 1.4.2 Hipótesis específica

La concentración de mercurio es 0,1 mg/L antes del tratamiento y 0,001 después del tratamiento en el agua.

La concentración de mercurio es 0 mg/L en la planta antes del tratamiento y después del tratamiento 0.1 en la *Eichhornia crassipes*

No existirá diferencia significativa entre la fitorremediación en medio ácido, alcalino y neutro.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación.

La investigación será de tipo aplicada por su finalidad práctica, de carácter cuasi experimental dado que no se manipulará de manera deliberada ambas variables del estudio, solo se manipulará la acidez del agua y los mg/L de contaminante en agua, causal por el control y relación de sus variables, de enfoque cuantitativo longitudinal por la predisposición de toma de muestras usando un método descriptivo correlacional.

### 2.2. Población y muestra

#### 2.2.1. Población

La población de estudio corresponde a 9 recipientes de agua contaminada con mercurio de modo no natural (200L), en un ambiente controlado (Laboratorio de la Universidad Privada del Norte)

#### 2.2.2. Muestra

La muestra corresponde a un litro de agua obtenido de los 9 recipientes tratados con *Eichhornia crassipes* con diferentes condiciones de pH=5, pH=7 y pH=9.

### 2.3. Materiales, instrumentos, reactivos.

#### 2.3.1. Materiales

Libreta de apuntes

Guantes quirúrgicos desechables

Mascarilla desechable

Etiquetas para muestra

Marcadores

Varilla de agitación

Vasos de precipitación



Balón de aforo

Estufa

### 2.3.2. Instrumentos

#### **Instrumentos para la experimentación**

Cámara digital

Computadoras

Unidades de almacenamiento (USB)

Calculadoras

Cronómetros

pH metro

Balanza analítica

#### **Instrumentos para la recolección de datos**

Etiquetas para muestra de agua

Etiqueta para muestra de planta

Etiqueta para codificación de contenedor

Ficha de recolección de datos (ver anexo 2)

### 2.3.3. Reactivos

Ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  concentrado 1N (50 mL)

Hidróxido de sodio 1N (50 mL)

Nitrato mercurioso hidratado (50 mg)

Agua ultrapura o destilada (20 ml)

## **2.4. Procedimiento.**

### **2.4.1 Adquisición de las especies macrófitas**

Para el proceso de experimentación se realizó la adquisición de plantas, las cuales se trabajó en un ambiente controlado, no existe información que regule la cantidad de plantas necesarias para realizar una fitorremediación, por el cual se tuvo en cuenta la cantidad de mercurio, tiempo de fitorremediación y manejo de pH. Se adquirió 20 plantas adultas con características saludables y sin presencia visual de marchitez.

### **Descripción de la especie vegetal utilizada**

#### **Taxonomía.**

Para la experimentación se trabajó con una especie hiper acumuladora de tipo macrófita acuática como es la “*Eichornia crassipes*”, la cual se encuentra dentro de la siguiente clasificación. (ver tabla 6)

### **2.4.2 Fase de adaptación de especies macrófitas**

Esta fase tuvo una duración de 3 días teniendo como referencia a Domínguez et al. (2016); en este periodo se verificó y seleccionó 15 especies representativas que presenten condiciones saludables para el experimento.

Estas macrófitas fueron codificadas, para monitorear los cambios que puedan presentar.

Tabla 2

*Sub clasificación Vegetal de la Eichhornia crassipes*

División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Pontederiales
Familia	Pontederiaceae
Genero	<i>Eichornia</i>
Especie	<i>Crassipes</i>

Fuente: Paredes (2015)

### 2.4.3 Diseño y dimensiones de contenedores de vidrio

Para el presente estudio se utilizó contenedores de vidrio para evitar la pérdida de mercurio por absorción del material plástico, además para verificar las condiciones de la planta durante la experimentación.

Las dimensiones se especifican en la Tabla 4, la cual especifica que se trabajará con 12 contenedores de vidrio de la misma dimensión, con la finalidad de manipular la variación de pH y tiempo de fitorremediación.

Tabla 3

*Especificaciones de contenedores de vidrio.*

Especificaciones				
Largo	Ancho	Profundidad	Volumen	Cantidad
40	25	20	20	12

## Condiciones del lugar

La experimentación se desarrollará en un área con techo, ventilación adecuada y entrada de rayos solares a condiciones ambientales de la ciudad de Cajamarca.

Con las siguientes características a monitorear antes de la puesta en marcha de la fase experimental

Tabla 4

*Recolección de datos de condiciones de lugar.*

Temperatura media	19 °C
Temperatura máxima	23°C
Temperatura mínima	8°C
Humedad promedio	52%

### 2.4.4 Preparación de la solución de mercurio

Para la preparación de la disolución se pesó el nitrato mercurioso hidratado, teniendo como base la relación estequiométrica que existe entre los componentes de la fórmula.

Se tomó en cuenta el peso del mercurio de acuerdo a la cantidad de disolución que se necesita por cada litro de agua.

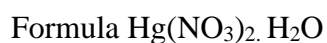


Tabla 5

*Cálculos de masa molar*

Elemento	Masa atómica	Numero de moléculas	Masa molar
Hg	200.59	1	200.59
N	14.0067	2	28.014
H	1.00784	2	2.016
O	15.999	7	111.993
Total			342.6151

Masa molar 342.6151

Tabla 6

*Porcentaje de aporte de elementos*

Elemento	Masa molar	% aporte
Hg	200.59	58.547 %
N	28.014	0.589 %
H	2.016	8.177 %
O	111.993	32.68 %
Total	342.6151	100 %

Relación del porcentaje de mercurio, con la cantidad de solución requerida 0.1 mg/L de mercurio

$$0.1\text{mg} \text{ ----- } 58.547 \% \text{ Hg}$$

$$x \text{ ----- } 100\%$$

$x = 0,17$  mg de Nitrato de mercurio monohidratado por litro de agua utilizado.

Se requiere 200 litros de solución por lo cual será necesario

$0,17$  mg de  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \times (200 \text{ L}) = 34,16$  mg ó  $0,0342$  g de  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Una vez realizado el cálculo de los gramos necesarios para preparar la muestra, se procede a la preparación:

Paso 1: Se pesa en la balanza analítica la cantidad resultante de Nitrato de mercurio monohidratado calculado, es decir  $34,16$  mg.

Figura 1

*Uso de balanza analítica*



Paso 2: Se mide 20 ml de agua destilada y en un vaso de precipitación se coloca junto a los  $34,16$  mg de nitrato de mercurio.

Figura 2

*Dilución de nitrato de mercurio*



Paso 3: Luego se calienta la solución hasta 35 °C, haciéndose uso de una varilla de agitación disolver completamente el Nitrato de mercurio.

Figura 3

*Uso de estufa*



Paso 4: Se procede a incorporar la solución y aforar a un litro con agua destilada.

Esta solución al 20 mg/L de mercurio se almacena en un recipiente vidrio para posterior aplicación.

### 2.4.5 Codificación y etiquetado

Para la codificación y etiquetado se identificó a cada uno de los contenedores dependiendo del tipo de medio en el cual se trabajará

Teniendo así 12 contenedores en los cuales se trabajó en tres medios acuosos: medio ácido, alcalino y neutro, con 5, 10, 15 días de fitorremediación

Tabla 7

*Codificación y etiquetado de contenedores*

<b>Contenedor</b>	<b>Descripción del medio</b>
<b>Contenedor 01</b>	Medio ácido con 5 días de fitorremediación
<b>Contenedor 02</b>	Medio neutro con 5 días de fitorremediación
<b>Contenedor 03</b>	Medio alcalino con 5 días de fitorremediación
<b>Contenedor 04</b>	Medio ácido con 10 días de fitorremediación
<b>Contenedor 05</b>	Medio neutro con 10 días de fitorremediación
<b>Contenedor 06</b>	Medio alcalino con 10 días de fitorremediación
<b>Contenedor 07</b>	Medio ácido con 15 días de fitorremediación
<b>Contenedor 08</b>	Medio neutro con 15 días de fitorremediación
<b>Contenedor 09</b>	Medio alcalino con 15 días de fitorremediación
<b>Contenedor 10</b>	Medio ácido sin fitorremediación
<b>Contenedor 11</b>	Medio neutro sin fitorremediación
<b>Contenedor 12</b>	Medio alcalino sin fitorremediación



Las muestras que fueron enviadas al laboratorio, también fueron codificadas, teniendo en cuenta el medio al que fueron expuestos, es decir medio ácido, alcalino o neutro, se trabajará muestras de plantas y agua para definir el grado de fitorremediación en agua y absorción en la planta, se tuvo en cuenta la siguiente codificación:

Tabla 8

*Código de muestreo, muestra 1 a 11*

<b>Numero de muestra</b>	<b>Descripción de muestra</b>	<b>Tamaño de muestra y cantidad de plantas</b>	<b>Código</b>
1° muestra	Muestra de 200 L de agua antes de contaminar con mercurio	1 L	<b>MAI - 1</b>
2° muestra	Planta antes de aplicar tratamiento	1 planta	<b>MPI - 1</b>
3° muestra	Planta antes de aplicar tratamiento	1 planta	<b>MPI - 2</b>
4° muestra	Muestra después de aplicar 1L de contaminante en 199 L de agua	1 L	<b>MAI - 2</b>
5° muestra	Muestra de agua acida después de 5 días de fitorremediación	1 L	<b>MAC -1</b>
6° muestra	Muestra de agua neutra después de 5 días de fitorremediación	1 L	<b>MN - 1</b>
7° muestra	Muestra de agua alcalina después de 5 días de fitorremediación	1 L	<b>MAL - 1</b>
8° muestra	Muestra de planta en medio acido después de 5 días de fitorremediación	1 planta	<b>MPAC-1</b>
9° muestra	Muestra de planta en medio neutro después de 5 días de fitorremediación	1 planta	<b>MPN - 1</b>
10° muestra	Muestra de planta en medio alcalino después de 5 días de fitorremediación	1 planta	<b>MPAL - 1</b>
11° muestra	Muestra de agua acida después de 10 días de fitorremediación	1 L	<b>MAC -2</b>

Tabla 9

*Código de muestreo, muestra 12 a 24*

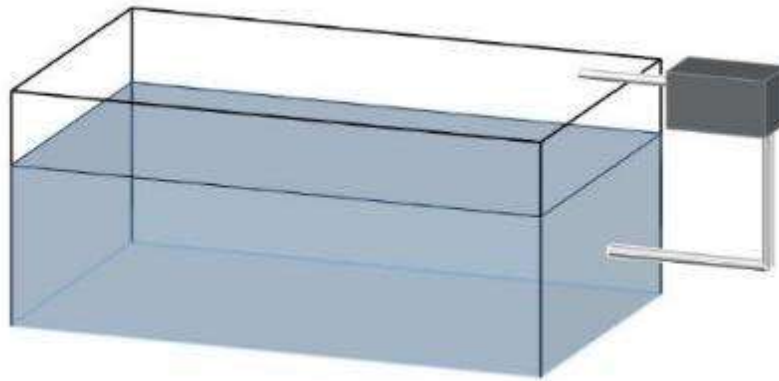
<b>Numero de muestra</b>	<b>Descripción de muestra</b>	<b>Tamaño de muestra y cantidad de plantas</b>	<b>Código</b>
12° muestra	Muestra de agua neutra después de 10 días de fitorremediación	1 L	<b>MN - 2</b>
13° muestra	Muestra de agua alcalina después de 10 días de fitorremediación	1 L	<b>MAL - 2</b>
14° muestra	Muestra de planta en medio ácido después de 10 días de fitorremediación	1 planta	<b>MPAC-2</b>
15° muestra	Muestra de planta en medio neutro después de 10 días de fitorremediación	1 planta	<b>MPN - 2</b>
16° muestra	Muestra de planta en medio alcalino después de 10 días de fitorremediación	1 planta	<b>MPAL - 2</b>
17° muestra	Muestra de agua ácida después de 15 días de fitorremediación	1 L	<b>MAC -3</b>
18° muestra	Muestra de agua neutra después de 15 días de fitorremediación	1 L	<b>MN - 3</b>
19° muestra	Muestra de agua alcalina después de 15 días de fitorremediación	1 L	<b>MAL - 3</b>
20° muestra	Muestra de planta en medio ácido después de 15 días de fitorremediación	1 planta	<b>MPAC-3</b>
21° muestra	Muestra de planta en medio neutro después de 15 días de fitorremediación	1 planta	<b>MPN - 3</b>
22° muestra	Muestra de planta en medio alcalino después de 15 días de fitorremediación	1 planta	<b>MPAL - 3</b>
23° muestra	Muestra de agua sin fitorremediación medio ácido	1 L	<b>MB AC</b>
24° muestra	Muestra de agua sin fitorremediación medio alcalino	1 L	<b>MB AL</b>
25° muestra	Muestra de agua sin fitorremediación medio neutro	1 L	<b>MB NE</b>

### 2.4.1 Armado del sistema

El sistema consistió en recipientes de vidrio con las medidas especificadas en materiales, estos contenedores fueron considerados de vidrio para evitar la traslocación del mercurio,

Figura 4

*Aforo y diseño del sistema*



Se colectó 200 L de agua de grifo, se tomó 1L de agua y se codificó como MAI – 1 (ver figura 2), el muestreo se realizó con la finalidad de determinar la cantidad de mercurio en agua, para lo cual se utilizó el método EPA 245.1 Rev. 3.0.1994, en el cual se utilizó un método cuantitativo de absorción atómica, obteniéndose un valor < al límite de cuantificación del método (LCM), posteriormente se realizó la contaminación del agua vertiendo 1L de solución de mercurio a 20 mg/L en 199 L de agua.(ver figura 3)

Obteniéndose agua a 0.1302 mg/L según muestreo MAI – 2, posterior a ello se realizó la puesta en marcha de los 12 contenedores, llenándolos a una capacidad de 16 L, posterior a ello se agregó ácidos (ácido sulfúrico al 1N) y bases (hidróxido de sodio al 1N) hasta llegar a pH de 5, 7 y 9.(ver figura 4 y 5), los ácidos y bases se aplicaron con gotero, hasta llegar al pH ácido,

alcalino y neutro deseado. para lo cual se agregó en intervalos de 1 minuto  
homogenizando con las bombas de agua.

Figura 5

*Muestreo de agua MAI - 1}*



Figura 6

*Muestreo de agua MAI - 2*



Figura 7

*Armado y llenado de contenedores*



Figura 8

*Variaciones de pH*



Adicionalmente se tomó lectura del pH de cada medio modificado, según se aprecia en las figuras 6,7,8, Obteniéndose 3 medios de trabajo:

Medio Acido	pH 4
Medio Neutro	pH 7
Medio alcalino	pH 9.3

Figura 9

*pH del medio alcalino de trabajo*



Figura 10

*pH del medio neutro de trabajo*



Figura 11

*pH del medio ácido de trabajo*



Adicionalmente se determinó los niveles de mercurio en las plantas que se utilizarán, para lo cual se envió 2 muestras de código MP-1 Y MP-2 a laboratorio, estas servirán como línea base para determinar la cantidad de mercurio que son capaces de absorber.

Figura 12

*Muestras MP-1 Y MP-2 – plantas*





Para mantener el agua en movimiento se utilizó bombas de acuario con capacidad de 300 l/h, con la finalidad de evitar la precipitación del mercurio al fondo de los contenedores.

Figura 13

*Bomba acuario 300 L / hora*



Los contenedores fueron etiquetados y codificados dependiendo del medio en el cual se trabajó.

Figura 14.

*Etiquetado de contenedores*



Figura 15

*Puesta en marcha de los sistemas de análisis*



Figura 16

*Primer día de funcionamiento de los sistemas*



## 2.4.2 Fitorremediación

Los tiempos estimados de fitorremediación fueron 5, 10 y 15 días, en los cuales se monitoreo los mg/kg de mercurio en planta y mg/L de mercurio en el agua.

Figura 17

*Muestreo de plantas a los 5 días de fitorremediación*



Figura 18

*Monitoreo de agua a los 5 días de fitorremediación*



Las muestras de plantas y agua se analizaron en el laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo y al Laboratorio Regional del Agua analizados bajo el uso de espectrofotómetro de absorción atómica.

Figura 19

*Muestreo de plantas y envío a laboratorio*



Figura 20

*Muestreo de agua y envío a laboratorio*



En la tabla 16 se presenta el informe del análisis de agua y plantas realizado durante la experimentación, se tuvo en cuenta el código de cada muestra y el resultado en mg/L

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

Tabla 10

*Informe de laboratorio*

Código	Descripción de muestra	RESULTADO mg/L
MAI - 1	Muestra de 200 L de agua antes de contaminar con mercurio	<LCM
MPI - 1	Planta antes de aplicar tratamiento	0.0026
MPI - 2	Planta antes de aplicar tratamiento	0.0024
MAI - 2	Muestra después de aplicar 1L de contaminante en 199 L de agua	0.1302
MAC -1	Muestra de agua acida después de 5 días de fitorremediación	0.0072
MN - 1	Muestra de agua neutra después de 5 días de fitorremediación	0.0028
MAL - 1	Muestra de agua alcalina después de 5 días de fitorremediación	0.0029
MPAC-1	Muestra de planta en medio acido después de 5 días de fitorremediación	0.025
MPN - 1	Muestra de planta en medio neutro después de 5 días de fitorremediación	0.028
MPAL - 1	Muestra de planta en medio alcalino después de 5 días de fitorremediación	0.018
MAC -2	Muestra de agua acida después de 10 días de fitorremediación	0.0055
MN - 2	Muestra de agua neutra después de 10 días de fitorremediación	0.0005



<b>Código</b>	<b>Descripción de muestra</b>	<b>RESULTADO mg/L</b>
<b>MAL - 2</b>	Muestra de agua alcalina después de 10 días de fitorremediación	0.0004
<b>MPAC-2</b>	Muestra de planta en medio ácido después de 10 días de fitorremediación	0.022
<b>MPN - 2</b>	Muestra de planta en medio neutro después de 10 días de fitorremediación	0.023
<b>MPAL - 2</b>	Muestra de planta en medio alcalino después de 10 días de fitorremediación	0.017
<b>MAC -3</b>	Muestra de agua ácida después de 15 días de fitorremediación	<LCM
<b>MN - 3</b>	Muestra de agua neutra después de 15 días de fitorremediación	0.0003
<b>MAL - 3</b>	Muestra de agua alcalina después de 15 días de fitorremediación	0.0003
<b>MPAC-3</b>	Muestra de planta en medio ácido después de 15 días de fitorremediación	0.015
<b>MPN - 3</b>	Muestra de planta en medio neutro después de 15 días de fitorremediación	0.018
<b>MPAL - 3</b>	Muestra de planta en medio alcalino después de 15 días de fitorremediación	0.011
<b>MB</b>	Muestra de agua sin fitorremediación en medio ácido	0.129
<b>MB</b>	Muestra de agua sin fitorremediación en medio alcalino	0.131
<b>MB</b>	Muestra de agua sin fitorremediación en medio neutro	0.130

Tabla 11

*Resultados de concentración de mercurio en el agua antes y después de la fitorremediación*

Tiempo	Concentración en medio ácido mg/L		
	inicio	fin	% fitorremediación
5 días	0,1302	0,0072	94,4
10 días	0,1302	0,0055	95,7
15 días	0,1302	<LCM	>99,8
Concentración en medio neutro mg/L			
5 días	0,1302	0,0028	97,8
10 días	0,1302	0,0005	99,62
15 días	0,1302	0,0003	99,76
Concentración en medio alcalino mg/L			
5 días	0,1302	0,0029	97,7
10 días	0,1302	0,0004	99,69
15 días	0,1302	0,0003	99,76

En la Tabla 17 se presentan los resultados de laboratorio de fitorremediación de agua contaminada por mercurio, la muestra inicial y el resultado a los 5, 10, 15 días de la aplicación de la técnica, se presenta de igual modo el porcentaje de fitorremediación en cada punto de monitoreo.

Tabla 12

*Resultados de biosorción en planta*

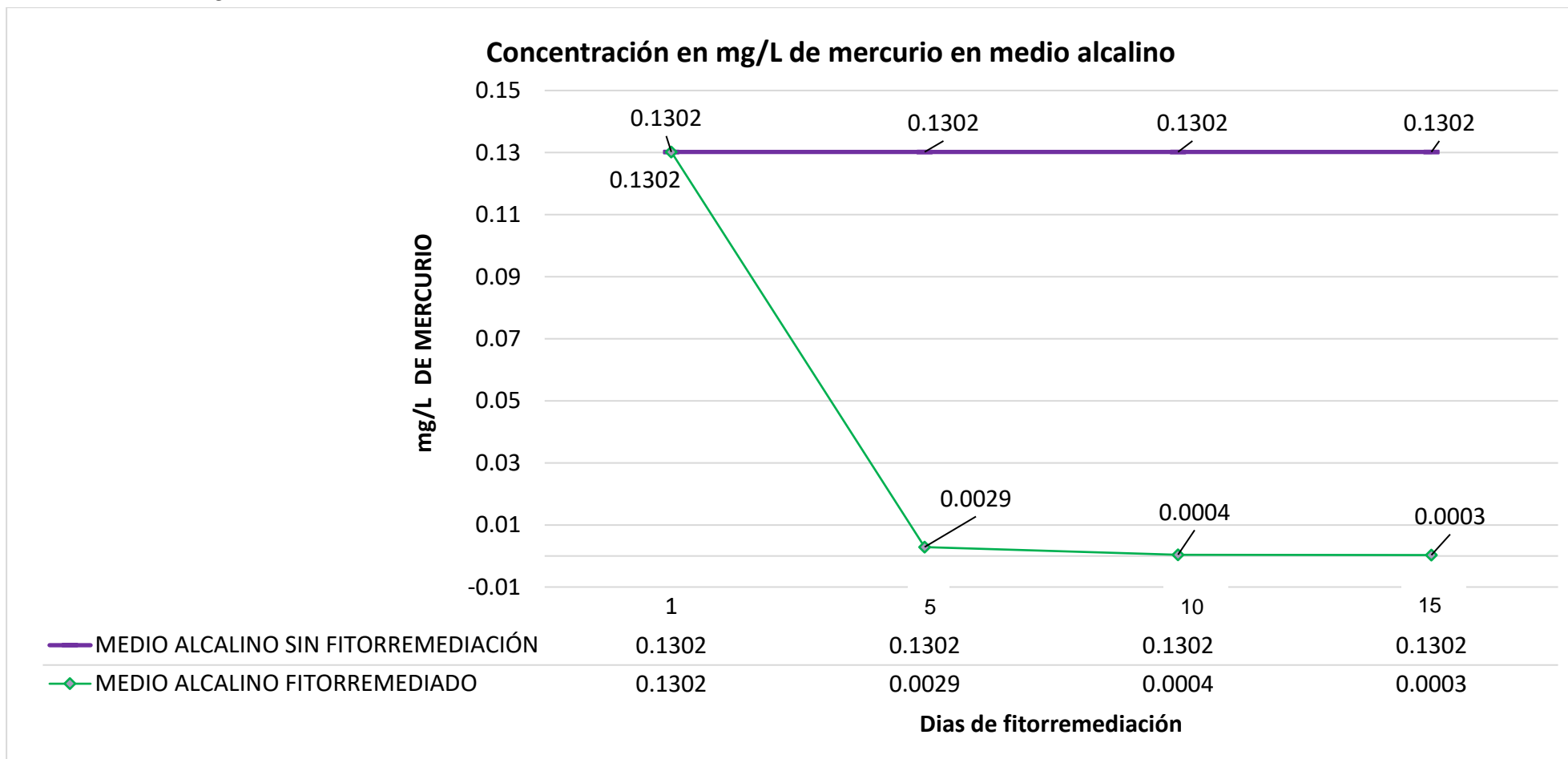
Medio	Tiempo	Concentración en mg/kg	
		inicio	fin
Ácido	5 días	0,0025	0,025
	10 días	0,0025	0,022
	15 días	0,0025	0,015
Neutro	5 días	0,0025	0,028
	10 días	0,0025	0,023
	15 días	0,0025	0,018
Alcalino	5 días	0,0025	0,018
	10 días	0,0025	0,017
	15 días	0,0025	0,011

En la Tabla 18 se presentan los resultados de laboratorio de la biosorción de mercurio por las plantas, la muestra inicial y el resultado a los 5, 10, 15 días de la aplicación de la técnica.



Figura 21

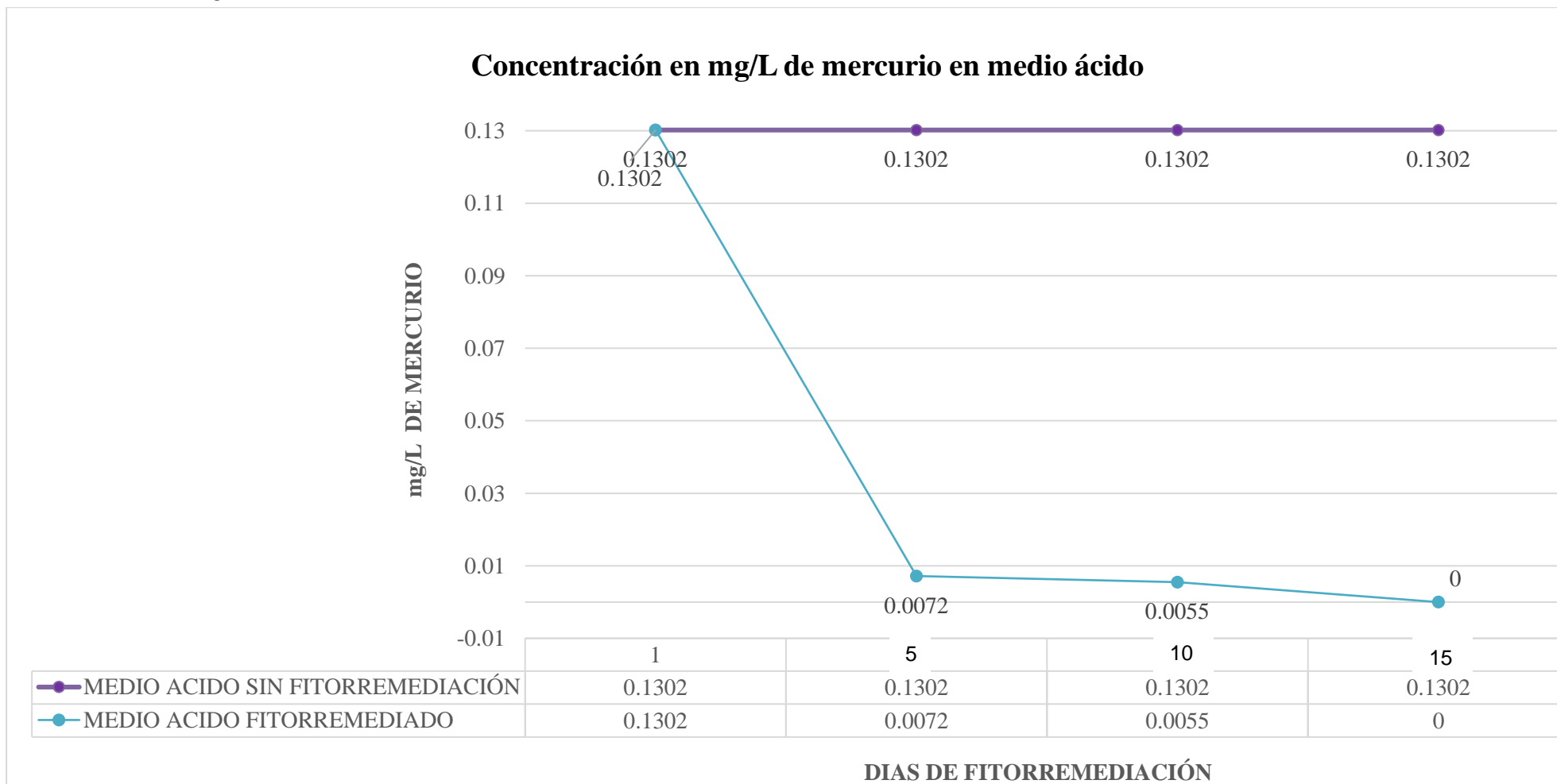
Concentración en mg/L de mercurio en medio alcalino



En la Figura 21 se presenta la concentración en mg/L de mercurio en agua alcalina con pH 10 a lo largo de los 15 días de fitorremediación

Figura 22

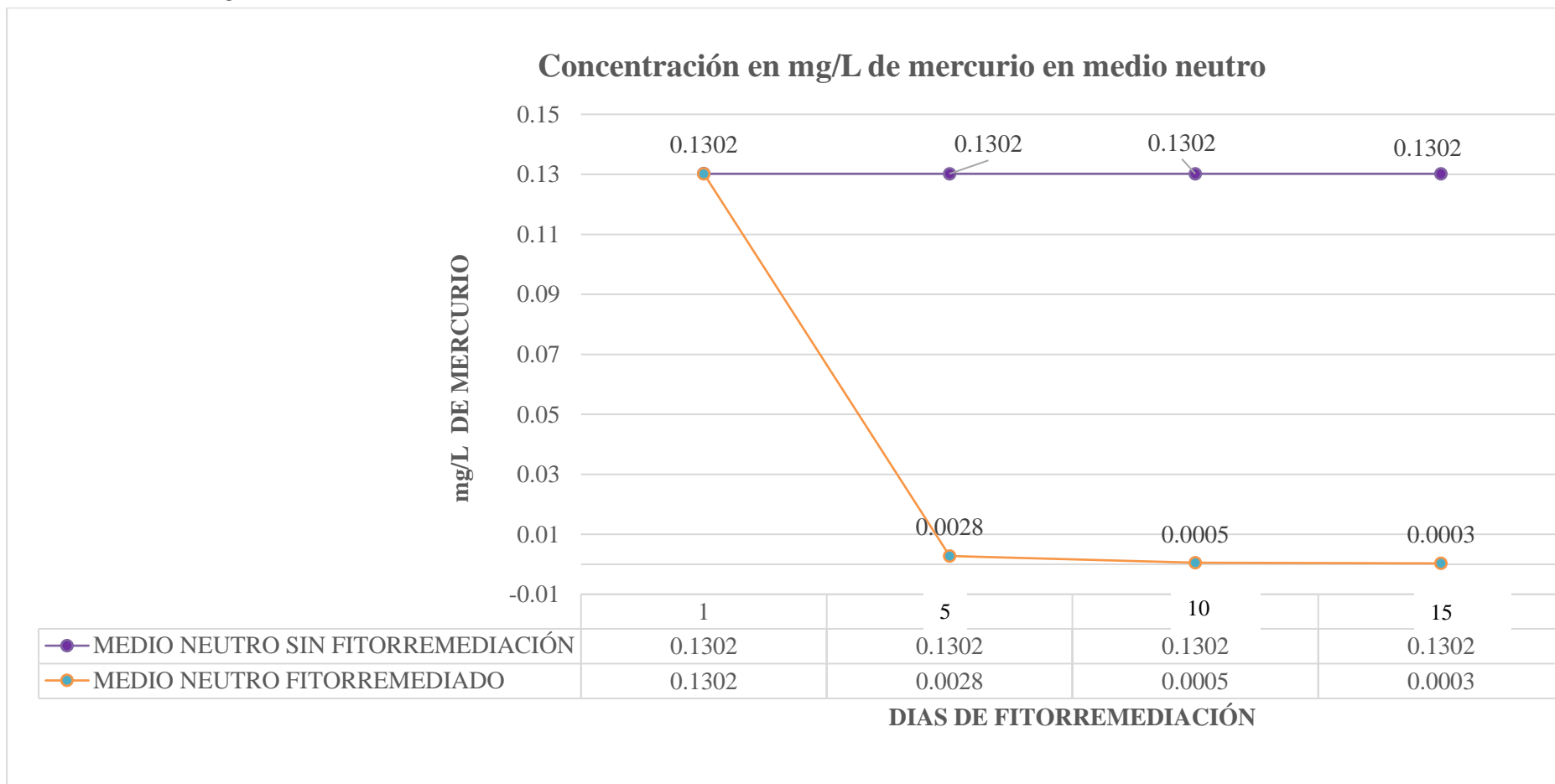
Concentración en mg/L de mercurio en medio ácido



En la Figura 22 se presenta la concentración de mg/L de mercurio en agua ácida con pH 5 a lo largo de los 15 días de fitorremediación

Figura 23

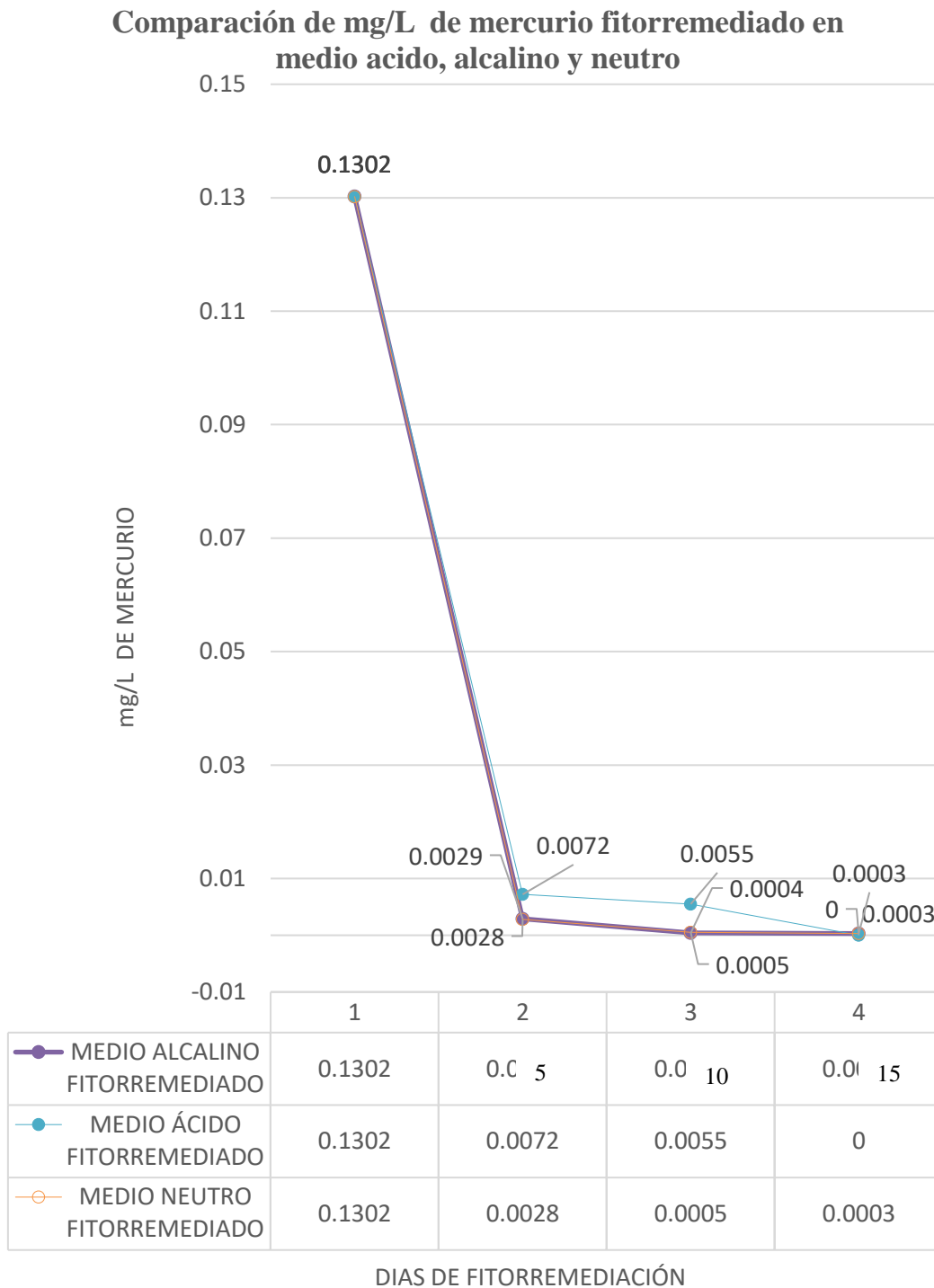
Concentración en mg/L de mercurio en medio neutro



En la Figura 23 se presenta la concentración en mg/L de mercurio en agua neutra con pH 7 a lo largo de los 15 días de fitorremediación

Figura 24

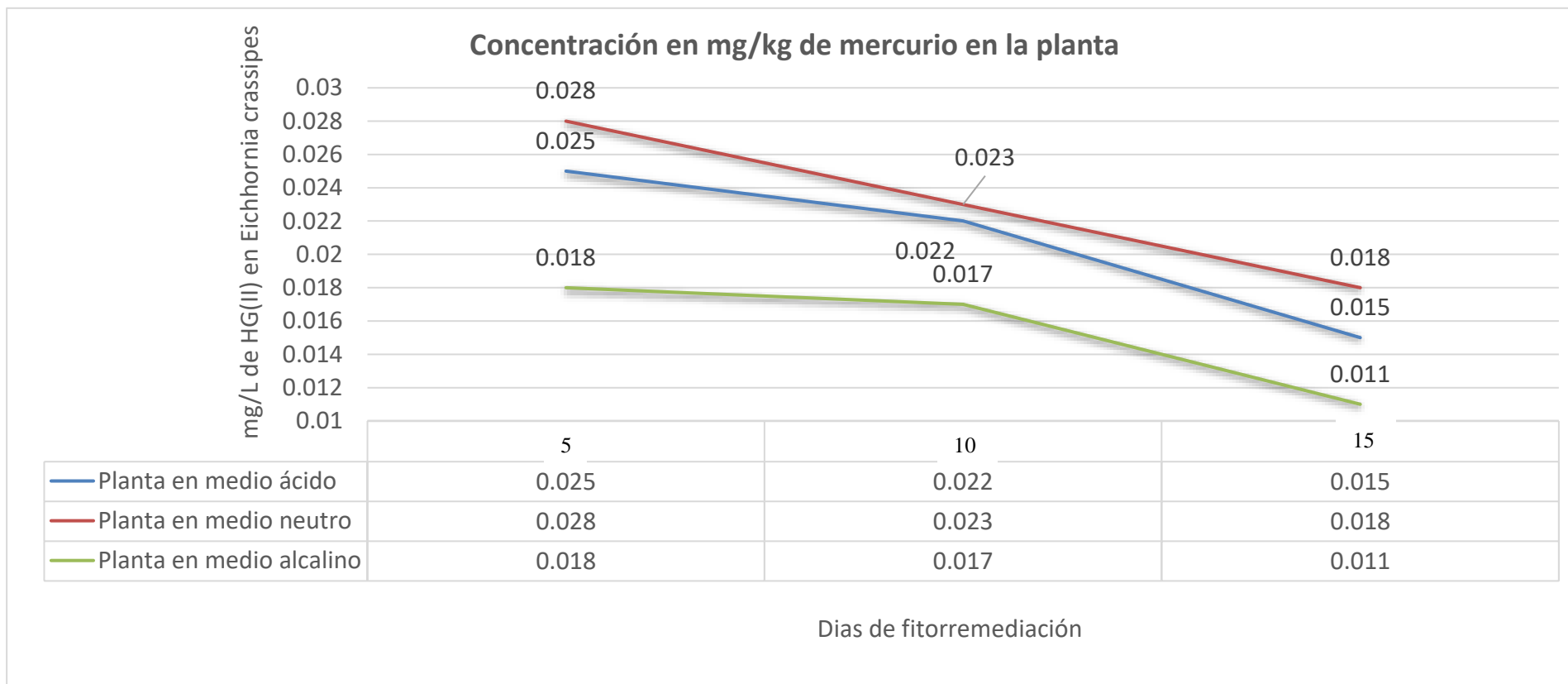
Comparación de concentración en mg/L de mercurio fitorremediado en medio ácido, alcalino y neutro



En la figura 24 se observa la comparación de resultados de concentración en mg/L de mercurio en 3 medios de trabajo ácido neutro y alcalino durante 5, 10 y 15 de fitorremediación

Figura 25

Concentración en mg/kg de mercurio en plantas durante la fitorremediación



En la figura 25 se observa la comparación de resultados de concentración en mg/L de mercurio en la planta *Eichhornia crassipes* en 3 medios de trabajo ácido neutro y alcalino durante 5, 10 y 15 de fitorremediación

### Análisis estadístico de resultados.

Para el análisis estadístico de datos se utilizó el software Minitab 18, en el cual se utilizó el método ANOVA Modelo lineal general: Fitorremediación vs. Medio y tiempo de fitorremediación, el cual verificará y determinará mediante un análisis de probabilidades si se rechaza o no la hipótesis nula.

Tabla 13

#### *Información de factor*

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Medio tratamiento	Fijo	3	acido; alcalino; neutro
Tiempo de fitorremediación	Fijo	3	10 días; 15 días; 5 días

Tabla 14

#### *Análisis de varianza*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Medio tratamiento	2	0,000008	0,000004	1,18	0,418
Tiempo de fitorremediación	2	0,000014	0,000007	2,16	0,262
Error	3	0,000010	0,000003		
Total	7	0,000027			

Tabla 15.

#### *Resumen de modelo*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0017843	84,3 %	67,24 %	0,00 %

Tabla 16

*Prueba anova entre resultados de fitorremediación y medio de tratamiento*

Prueba estadística ANOVA	
Hipotesis	<p><math>H_0 =</math> No existe diferencia significativa entre las medias (<math>u_1 = u_2</math>).</p> <p><math>H_1 =</math> Existe diferencia significativa entre las medias (<math>u_1 \neq u_2</math>).</p>
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$
p	0,418
Decisión estadística	No se rechaza $H_0$
Conclusión	Se cumple el supuesto de igualdad de varianzas al tener una significancia del 5 %.

Nota: Como el valor estadístico de probabilidad asociada (p) es igual a 0,418, este valor es mayor al nivel de significancia de 0,05, se concluye que no existe diferencia estadística significativa entre la fitorremediación en medio ácido neutro o alcalino.

Tabla 17

*Prueba anova entre resultados de fitorremediación y tiempo de fitorremediación*

Prueba estadística ANOVA	
Hipotesis	<p><math>H_0 =</math> No existe diferencia significativa entre las medias (<math>u_1 = u_2</math>).</p> <p><math>H_1 =</math> Existe diferencia significativa entre las medias (<math>u_1 \neq u_2</math>).</p>
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$
p	0,262
Decisión estadística	No se rechaza $H_0$
Conclusión	Se cumple el supuesto de igualdad de varianzas al tener una significancia del 5 %.

Nota: Como el valor estadístico de probabilidad asociada (p) es igual a 0.262, este valor es mayor al nivel de significancia de 0.05, se concluye que no existe diferencia estadística significativa entre la fitorremediación en función del tiempo de aplicación de 5, 10, 15.



## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 5.1. Discusión

En la presente investigación se verificó la efectividad de la *Eichhornia crassipes* en la fitorremediación de aguas contaminadas con mercurio; obteniéndose resultados superiores a 15 % en la absorción de este ion metálico contrastándola hipótesis general, concordando con Poma, V y Valderrama, A. (2014). quienes obtuvieron una absorción arriba de 15,6 % para el Hg (II) en un periodo de 7 días a una concentración de 5 mg/L, la presente investigación llegó a fitorremediar un porcentaje de Hg (II) superior a 90% (>99,8 en medio ácido; 99,76 medio neutro y 99,76 en medio alcalino) en un periodo de 15 días a 0,1302 mg/L de Hg (II) en ambientes controlados de agua en movimiento, la técnica se mejoró considerablemente al evitar la precipitación de mercurio usando un sistema de flujo continuo, de este modo la planta fue capaz de captar mayor cantidad de iones metálicos de Hg (II) en menor tiempo de aplicación a diferencia de diseños estáticos, concordando con Paredes (2015), quien obtuvo una remoción de mercurio en humedal artificial de flujo continuo a escala de laboratorio de 99,56 %.

Otro punto importante en el desarrollo de la presente investigación es el flujo continuo utilizado (3L/min), que a pesar de diferir con Castillo (2017) quien usó un flujo continuo de 0.03L/h. Se concuerda y considera la fitorremediación una tecnología limpia en el tratamiento eficiente y sostenible del agua, aumentando su eficiencia al evitar la precipitación de contaminantes.

Se verifica que el almacenamiento de Hg(II) en la planta es mayor (0,28mg/L) en los primeros 5 días de fitorremediación, para luego descender a los 10 y 15 días (0,11mg/L) de manera progresiva, a este tipo de fitorremediación se le denomina Biosorción y bioacumulación que Según Wang et al. (1996), se puede explicar en dos pasos: un primer paso de absorción rápida o vinculación a la superficie biológica (biosorción),

seguido por un segundo paso de transporte lento e irreversible, controlado por la difusión al interior de la célula (bioacumulación) que puede ser por difusión del ion metálico a través de la membrana celular o por transporte activo por una proteína transportadora.

A partir de los resultados obtenidos verificamos que la fitorremediación en los diferentes medios de aplicación, estadísticamente no tiene diferencia significativa al obtenerse un valor de probabilidad asociada de 0,48 superior al nivel de significancia de 0,05 con dos grados de libertad, por lo cual no se rechaza la hipótesis nula, es decir se concluye que no existe diferencia significativa entre la fitorremediación y el medio (pH) en el que se aplica. concordando con Paredes (2015) en que, la remoción de mercurio, no se optimiza mediante un pH óptimo del agua y concentración del metal, sino que el problema radica la falta de homogeneidad de las plantas para determinar un modelo óptimo de fitorremediación, de igual modo se concuerda con Poveda (2017), quien indica que la fitorremediación es una herramienta vital e importante que depende enteramente de las condiciones límite de vida de la macrófitas utilizadas, es por ello que la diferencia de pH no genera diferencia estadística significativa en la vida de la planta y en consecuencia su capacidad fitoremediadora.

De igual manera se observa que con un valor de  $p = 0,262$  mayor al valor de significancia 0.05, el resultado de fitorremediar a los 5, 10, 15 días no tiene diferencia significativa, por lo cual podemos argumentar que para este tratamiento los primeros 5 días son primordiales, por el tiempo donde se realiza la mayor cantidad de biosorción del contaminante, siendo la biosorción significativamente más baja los días posteriores. Concordando con Poma, V y Valderrama, A. (2014), quienes obtuvieron los mejores

resultados los primeros 7 días de fitorremediación y un descenso de biosorción los días posteriores.

Por lo que se llegó una discusión final de que el tratamiento con *Eichhornia crassipes* registra las tasas más altas en la remoción de metales como el mercurio, considerando sus características fisiológicas propias, que según Cortez (2017) debido al alto porcentaje de Celulosa en las raíces y tallos y la presencia de grupos hidroxilos que posibilitan la formación de puentes de hidrogeno con sustancias externas. Lleva a cabo la acumulación de metales pesados por biosorción al interior de la célula para su difusión como ion metálico por la membrana celular. Por lo que se sugiere realizar estudios de carácter investigativo biológico para puntualizar la eficiencia de esta macrófitas flotante, que por su alta tasa en la remoción de metales contribuye a la mejora de la calidad del agua, considerándolo como una tecnología limpia en el tratamiento eficiente del agua.

## 5.2. Conclusiones

Se fitorremedió agua contaminada por mercurio a 0,1302 mg/L usando *Eichhornia crassipes* con un potencial de remoción superior al 90 % en medios ácidos, neutros y alcalinos; en tiempos de 5, 10 y 15 días, evidenciándose que la efectividad de la técnica mejora considerablemente en ambientes con presencia de flujo continuo de agua.

La concentración de mercurio en el agua antes de la fitorremediación fue 0,1mg/L para los 3 medios de tratamiento, posterior al tratamiento fue: 0,0072mg/L, 0,0055, <LCM a los 5, 10 y 15 días respectivamente en medio ácido de pH 5; 0,0028; 0,0005; 0,003 a los 5, 10 y 15 días respectivamente en medio neutro de pH 7; 0,0029; 0,0004 y 0,0003 a los 5, 10 y 15 días en medio de pH alcalino 10, determinándose así la efectividad de la técnica de fitorremediación y evidenciándose un mejor resultado en medio neutro con tal solo 5 días de fitorremediación.

La concentración inicial de mercurio en las plantas antes de la fitorremediación fue <LCM, a los 5 días de fitorremediación (0.28mg/L), para luego descender a los 10 y 15 días (0.11mg/L). Concluyéndose de manera clara el proceso que realiza la *Eichhornia crassipes*, un primer paso de absorción rápida o vinculación a la superficie biológica (biosorción) los primeros 5 días, seguido por un segundo paso de transporte lento e irreversible, controlado por la difusión al interior de la célula (bioacumulación) que puede ser por difusión del ion metálico a través de la membrana celular.

Se concluye a partir de los resultados obtenidos, que la fitorremediación en los diferentes medios de aplicación, estadísticamente no tiene diferencia significativa al obtenerse un valor de probabilidad asociada de 0,418, en función de los medios de pH ácido, neutro y alcalino; de igual modo con un valor de probabilidad de 0,262 se

argumenta que para este tratamiento los días 5, 10 y 15 no presentan diferencia significativa evidenciándose que, los primeros 5 días son primordiales, porque es el tiempo donde se realiza la mayor cantidad de biosorción del contaminante.

## REFERENCIAS

- Agencia de protección ambiental. (1996). *Guía del ciudadano: Medidas fitocorrectivas*.
- Castillo, E. (2017). *Eficiencia de Lemna SP y Eichhornia crassipes, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín, Cajamarca* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Cordez, B; Mehra, A; Farago, M; Banerjee, D. (2000). Uptake of Cd, Cu, Ni and Zn by the water hyacinth, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms from pulverised fuel ash (PFA) leachates and slurries. *Environmental Geochemistry and Health, The Netherlands*, 22, 297-316.
- Diez, J. (2008). *Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas* (Tesis doctoral). Universidad de Santiago de Compostela, Galicia, España.
- Domínguez, M; Gómez, S y Ardila, A. 2016. Fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera. *Revista UGCiencia*, 22: 227-237.
- Fernández, J; De Miguel, E; De Miguel, J y Fernández, D. (2010). *Manual de Fitodepuración. Filtro de macrófitas en flotación*. Madrid: EDITA.

García, M. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas* (Tesis pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Instituto Nacional de la Salud (2012). *Contaminación con mercurio por la actividad minera*. 32 (3). Recuperado de: <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/1437>

Muramoto, S; Oki, Y. 1983. Removal of some Heavy Metals from Polluted Water by Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 30, 170-177.

Martínez, S. (2013). *Comportamiento del mercurio total en los sistemas terrestres del distrito minero de San Joaquín, QRO. Aplicación de modelos geoestadísticos y de regresión con árboles de decisión* (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Mentaberry, A. (2011). *Fitorremediación*. Recuperado de: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM\\_fitorremediacion\\_argentina\\_25620.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM_fitorremediacion_argentina_25620.pdf)

Nuñez, R; Meas, Y; Ortega, R; & Olguin, E. (2004). *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones, Biotecnología y Biología Molecular*. Recuperado de: [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55\\_3/Fitorremediacion.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf)

Paredes, J. (2015). *Optimización de la fitorremediación de mercurio en humedales de flujo continuo empleando Eichhornia crassipes "Jacinto de agua"* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.

Peña, C.; Carter, D. y Ayala, F. (2001). *Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental*. Recuperado de:  
<http://www.ingenieroambiental.com/informes2/toxamb.pdf>

Pieterse, A. (1978) *The Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) a review*. Recuperado de:  
[https://www.semanticscholar.org/paper/The-water-hyacinth-\(Eichhornia-crassipes\)-a-review-Pieterse/a6fe2f726454d67502f6ba4c6372e1b8d7424c8d](https://www.semanticscholar.org/paper/The-water-hyacinth-(Eichhornia-crassipes)-a-review-Pieterse/a6fe2f726454d67502f6ba4c6372e1b8d7424c8d)

Poveda, A y Velasteguí, R. (2014). *Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

Poma, V y Valderrama, A. (2014). Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (ii) y mercurio (ii) con la especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua). *Rev Soc Quim Perú* 80(3).

Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente (2005). *Evaluación mundial sobre el mercurio*.



Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., y González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y desarrollo*. 16 (2), 66-77.

Romero, J. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño*. Colombia. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Sarango, W. (2016). *Evaluación del potencial fitorremediador de la especie Gynerium sagittatum (Aubl.) P. Beauv en suelos contaminados por mercurio, en el barrio Kurintza, parroquia la Paz, Cantón Yacuambi, Provincia de Zamora Chinchipe* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

Sculthorpe, C. (1967). *The biology of Aquatic Vascular Plants*. London: Edward Arnold

Valero, L. (2006). *Aplicación tecnológica de las macrófitas a la depuración de aguas residuales con la ayuda de microorganismos* (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Vejar M, V Dellarossa & J Cespedes (1991) Nutrición Mineral y Coeficientes de Rendimiento de *E. crassipes* (Mart) Solms. Bol. Soc. biol. Concepción, Chile.

## ANEXOS



**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
LABORATORIO DE ENSAYO AGREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



**INFORME DE ENSAYO N° IE 0320139**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre: **BETSY AMBROCIO SERNAQUÉ**  
 Dirección: **Jr. Alfonso la Torre 260 - Cajamarca**  
 Persona de contacto: **-** Correo electrónico: **-**

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo: **03.03.20** Hora de Muestreo: **18:00 a 18:10**  
 Responsable de la toma de muestra: **Cliente** Plan de muestreo N°: **-**  
 Procedimiento de Muestreo: **-**  
 Tipo de Muestreo: **Puntual**  
 Número de puntos de muestreo: **03**  
 Ensayos solicitados: **Químicos**  
 Breve descripción del estado de la muestra: **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**  
 Referencia de la Muestra: **CAJAMARCA**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato: **SC - 150** Cadena de Custodia: **CC - 139 - 20**  
 Fecha y Hora de Recepción: **04.03.20 10:57** Inicio de Ensayo: **04.03.20 15:00**  
 Reporte Resultado: **13.03.20 15:00**

  
**Edder Neyra Jaico**  
 Responsable de Laboratorio  
 CIP: 147028

  
**Freddy López León**  
 Especialista de Química  
 CIP: 198264


**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**

**Cajamarca, 13 de Marzo de 2020.**


Página: 1 de 2

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"  
 JE. LUIS ALBERTO SANCHEZ S.N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
 LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
 FONDO: 595002 ANEXO 1148

Escaneado con CamScanner



**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-084



---

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0320139**

ENSAYOS			QUÍMICOS			
Código de la Muestra	MAL - 3	MN3	MAC-3	-	-	-
Código Laboratorio	0320139-01	0320139-02	0320139-03	-	-	-
Matriz	USO Y CONSUMO	USO Y CONSUMO	USO Y CONSUMO	-	-	-
Descripción	Bebida	Bebida	Bebida	-	-	-
Localización de la Muestra	Hoyos Rubio-Cajamarca	Hoyos Rubio-Cajamarca	Hoyos Rubio-Cajamarca	-	-	-
			<b>Resultados de Metales Totales</b>			
Parámetro	Unidad	LCM				
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0002	0.0003	0.0003	<LCM	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Mercurio por AAS-CV	mg/L	EPA 245.1, Rev 3.0, 1994. (Validado) 2014. Determination of mercury in water by cold vapor atomic absorption spectrometry

**NOTAS FINALES**

(\*) Los métodos y/o matriz indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.


(\*\*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.

✓ Las muestras sobre las que se realizan los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.

✓ Este documento al ser omitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.



"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev N°01 Fecha: 02/01/2020
Cajamarca, 13 de Marzo de 2020.

# LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Página: 2 de 2

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA. ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO.  
 DR. EDU ALBERTO SANCHEZ GON. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERU  
 e-mail: laboratorio@regioncajamarca.gob.pe FONOS: 09900 81610 1540





**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
 GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
 LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
 ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
 CON REGISTRO N° LE-084



---

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0320139**

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre: **BETSY AMBROCIO SERNAQUÉ**

Dirección: **Jr. Alfonso la Torre 269 - Cajamarca**

Persona de contacto: **Correo electrónico**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo: **03.03.20** Hora de Muestreo: **18:00 a 18:10**

Responsable de la toma de muestra: **Cliente** Plan de muestreo N°: **-**

Procedimiento de Muestreo: **-**

Tipo de Muestreo: **Puntual**

Número de puntos de muestreo: **03**

Ensayos solicitados: **Químicos**

Breve descripción del estado de la muestra: **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**

Referencia de la Muestra: **CAJAMARCA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato:	<b>SC - 150</b>	Cadena de Custodia:	<b>CC - 139 - 20</b>
Fecha y Hora de Recepción:	<b>04.03.20</b>	Inicio de Ensayo:	<b>04.03.20 15:00</b>
Reporte Resultado:	<b>13.03.20</b>		



**Edder Neyra Jaico**  
 Responsable de Laboratorio  
 CIP: 147028



**Freddy López León**  
 Especialista de Química  
 CIP: 198264

**Cajamarca, 13 de Marzo de 2020.**

Página: 1 de 1

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA - ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO  
 S.A.S. ALBERTO SANCHEZ S.N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERU  
 Tel: 0532 222222 / 0532 222222

Escaneado con CamScanner



LABORATORIO REGIONAL AGUA

**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
**GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA**  
**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL**  
**ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA**  
**CON REGISTRO N° LE-084**



INACAL  
 DA - PERU  
 ANEXO  
 Registro N° LE - 084

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0320139**

ENSAYOS			QUÍMICOS			
Código de la Muestra	MAL - 3	MN3	MAC-3			
Código Laboratorio	0320139-01	0320139-02	0320139-03			
Matriz	USO Y CONSUMO	USO Y CONSUMO	USO Y CONSUMO			
Descripción	Bebida	Bebida	Bebida			
Localización de la Muestra	Hoyos Rubio-Cajamarca	Hoyos Rubio-Cajamarca	Hoyos Rubio-Cajamarca			
			<b>Resultados de Metales Totales</b>			
Parámetro	Unidad	LCM				
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0002	0.0003	0.0003	<LCM	

**NOTAS FINALES**

(\*) Los métodos y/o matriz indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.  
 (\*\*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.  
 ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.  
 ✓ Las muestras sobre las que se replican los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perechibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; Luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.  
 ✓ Este documento al ser emitido al símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

"Fin del documento"

Cajamarca, 13 de Marzo de 2020.




**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**


Página 2 de 2

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO  
 DR. LUIS ALBERTO SANCHEZ EN LUGAR DEL DIRECTOR, CAJAMARCA - PERU  
 www.MolinosAgua.com.pe | PUNTO DE CONTACTO: 051 974 300000





**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
 GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
 LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
 CON REGISTRO N° LE-084



---

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0220106**

**DATOS DEL CLIENTE**


Razon Social/Nombre	BETSY AMBROCIO SERNAQUÉ		
Dirección	Jr. Alfonso la Torre 260 - Cajamarca		
Persona de contacto		Correo electrónico	:

**DATOS DE LA MUESTRA**


Fecha del Muestreo	21.02.20	Hora de Muestreo	16:30
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	03		
Ensayos solicitados	Químicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	CAJAMARCA		

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato	SC - 150	Cadena de Custodia	CC - 106 - 20
Fecha y Hora de Recepción	21.02.20	16:30	Inicio de Ensayo 25.02.20 09:00
Reporte Resultado	03.03.20	09:00	



**Edder Neyra Jaico**  
 Responsable de Laboratorio  
 CIP: 147028



**Freddy López León**  
 Especialista de Química  
 CIF: 198264

**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**

**Cajamarca, 03 de Marzo de 2020.**

Página: 1 de 2

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"  
 JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
 e-mail: laboratorio@regioncajamarca.gob.pe FONO: 095000 extno 1149



**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-084



**INFORME DE ENSAYO N° IE 0220105**

ENSAYOS			QUÍMICOS			
Código de la Muestra	MN - 1	MAC - 1	MAL - 1	-	-	-
Código Laboratorio	0220105-01	0220105-02	0220105-03	-	-	-
Matriz	USO Y CONSUMO	USO Y CONSUMO	USO Y CONSUMO	-	-	-
Descripción	Bebida	Bebida	Bebida	-	-	-
Localización de la Muestra	Hoyos Rubio-Cajamarca	Hoyos Rubio-Cajamarca	Hoyos Rubio-Cajamarca	-	-	-
			<b>Resultados de Metales Totales</b>			
Parámetro	Unidad	LCM				
Mercurio (Hg)	mg/L	0.002	0.0028	0.0072	0.0029	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Mercurio por AAS-CV	mg/L	EPA 245.1 Rev 3 0. 1994. (Válidos) 2014. Determination of mercury in water by cold vapor atomic absorption spectrometry

**NOTAS FINALES**

- (\*) Los métodos y/o matriz indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (\*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulada por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realizan los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.


Código del Formato: P-23-F01 Rev: 01 Fecha: 02/01/2020

Cajamarca, 03 de Marzo de 2020.



**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
**GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA**  
**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL**  
**ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA**  
**CON REGISTRO N° LE-084**



INACAL  
 DA - Peru  
 Organismo de Acreditación  
 Registro N° LE - 084

**IE 0220122**

**INFORME DE ENSAYO N°**


ENSAYOS			QUÍMICOS			
Código de la Muestra	MAC - 2	MAL - 2	MN - 2	-	-	-
Código Laboratorio	0220122-01	0220122-02	0220122-03	-	-	-
Matriz	USO Y CONSUMO	USO Y CONSUMO	USO Y CONSUMO	-	-	-
Descripción	Bebida	Bebida	Bebida	-	-	-
Localización de la Muestra	Hoyos Rubo-Cajamarca	Hoyos Rubo-Cajamarca	Hoyos Rubo-Cajamarca	-	-	-
			<b>Resultados de Metales Totales</b>			
Parámetro	Unidad	LCM				
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0002	0.0005	0.0004	0.0005	-



Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Mercurio por AAS-CV	mg/L	EPA 245.1, Rev 3.0, 1994, (Validado) 2014, Determination of mercury in water by cold vapor atomic absorption spectrometry

**NOTAS FINALES**

(\*) Los métodos y/o matriz indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.  
 (\*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulada por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.  
 ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.  
 ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.  
 ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.  
 ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.



"Fin del documento"

Cajamarca, 09 de Marzo de 2020.

Código del Formato: P-23-FD1 Rev: N°01 Fecha: 03/03/2020

**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**

Página: 2 de 2

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA - ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO  
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ N° 1189 - 17. BUNQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
 E-mail: laboratorio@lra.cajamarca.gob.pe FONO: 052002 4444 1140



**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



---

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0220092**

ENSAYOS			QUÍMICOS			
Código de la Muestra	MAI - 1	MAI - 2	-	-	-	-
Código Laboratorio	0220092-01	0220092-02	-	-	-	-
Matriz	USO Y CONSUMO	USO Y CONSUMO	-	-	-	-
Descripción	Bebida	Bebida	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Hoyas Rubio-Cajamarca	Hoyas Rubio-Cajamarca	-	-	-	-
			<b>Resultados de Metales Totales</b>			
Parámetro	Unidad	LCM				
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0002	<LCM	0.1302	-	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Mercurio por AAS-CV	mg/L	EPA 245.1, Rev 3.0, 1994. (Val dado) 2014. Determination of mercury in water by cold vapor atomic absorption spectrometry

**NOTAS FINALES**

(\*) Los métodos y/o matriz indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.  
 (†) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulada por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realice el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido el presente tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realizan los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Código del formato: P-23-F01 Rev N° 01 Fecha: 02/01/2020

"Fin del documento"

Cajamarca, 27 de Febrero de 2020.




LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Página: 2 de 2

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA. ASI GURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO.  
 BL. ALFONSO ALBERTO SANCHEZ S/A CUB. EL BUNZU, CAJAMARCA - PERU  
 TEL: 0532 280000 - 280001 FAX: 0532 280000





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO**  
**LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION**  
**LASACI**



**INFORME DE ANÁLISIS**

SOLICITANTE	: GINA QUIROZ BRIONES
MUESTRA	: PLANTAS ACUATICAS
PROCEDENCIA	: CAJAMARCA
FECHA DE INGRESO	: 03 DE MARZO DEL 2020
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

MUESTREO 03-03-2020

ANALISIS 04-03-2020

PARAMETROS	Unidades	RESULTADOS
MPN-3	Hg mg/ Kg	0.018
MPAC-3	Hg mg/ Kg	0.015
MPAL-3	Hg mg/ Kg	0.011

METODOS ABSORCION ATOMICA  
 TRUJILLO, 09 DE MARZO DEL 2020



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

0 949959632 / 933623974

Escaneado con CamScanner





