

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**Evaluación de la capacidad de Absorción de metales pesados de la  
planta *Elodea Canadensis* o Peste de agua mediante pruebas de  
Laboratorio en Retamayoc – Tomayquichua, Ambo (Huánuco) –  
2019**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Ambiental**

**Autor:**

**Bach. Saud Abel ONOFRE ESPINOZA**

**Asesor:**

**Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA**

**Cerro de Pasco – Perú – 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**Evaluación de la capacidad de Absorción de metales pesados de la  
planta *Elodea Canadensis* o Peste de agua mediante pruebas de  
Laboratorio en Retamayoc – Tomayquichua, Ambo (Huánuco) –  
2019**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. David Johnny CUYUBAMBA ZEVALLOS**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Lucio ROJAS VITOR**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Edgar Walter PEREZ JUZCAMAYTA**  
**MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 302-2025-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Evaluación de la capacidad de Absorción de metales pesados  
de la planta Elodea Canadensis o Peste de agua mediante  
pruebas de Laboratorio en Retamayoc – Tomayquichua,  
Ambo (Huánuco) – 2019**

Apellidos y nombres del tesista

**Bach. Saud Abel ONOFRE ESPINOZA**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Ambiental**

Índice de Similitud

**7 %**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 10 de julio del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO  
SIDRO Ruben Edgar FAU  
20154605046 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 10.07.2025 22:19:26 -05:00

## **DEDICATORIA**

A mi madre, por sus consejos oportunos para  
construir la persona que soy.

A mis familiares, por el apoyo incondicional de  
cada uno de ellos.

A mis maestros que fueron mis guías durante  
toda mi carrera profesional mis estudios.

## **AGRADECIMIENTO**

Al divino redentor, que supo guiar mis pasos y me dio la fuerza para continuar en este mundo.

A mi linda familia, por el apoyo diario y constante en cada etapa de mi existencia de mi vida.

A mis colegas y amigos de siempre, por su apoyo y amistad. Y, finalmente, agradezco infinitamente a mis maestros de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Cerro de Pasco.

El tesista.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación que lleva por título “Evaluación de la capacidad de Absorción de metales pesados de la planta *Elodea canadensis* o Peste de agua mediante pruebas de Laboratorio en Retamayoc – Tomayquichua, Ambo (Huánuco) – 2019” y que se desarrolló en el sector de Retamayoc que se encuentra ubicado en el distrito de Tomayquichua, pretende determinar la capacidad que tiene la *Elodea Canadensis* para absorber metales pesados, a fin de evaluar su viabilidad para implementar esta planta en proyectos de fitorremediación de cuerpos de agua afectados por la contaminación metálica.

La investigación se desarrolló en base al enfoque cuantitativo, tipo aplicada, diseño experimental, nivel exploratorio, descriptivo y explicativo, para la investigación se recolectó 20 muestras de *Elodea Canadensis* que se expusieron a una solución que contenía plomo, cobre y hierro para luego mediante pruebas de laboratorio analizar la reducción de la concentración de metales en el agua mensualmente. Los resultados mostraron que la *Elodea Canadensis* en condiciones ambientales como las de Tomayquichua presenta una buena capacidad para absorber metales pesados, siendo más efectiva en la captación de plomo a comparación del cobre y del hierro; logrando una eficiencia de absorción de plomo del 55, 97%, de cobre del 50,72% y de hierro de 34,35%.

Por lo tanto, se concluye que *Elodea canadensis* es una opción prometedora para la fitorremediación desempeñando un papel crucial en la limpieza y restauración de recursos hídricos afectados por la contaminación de metales pesados, ofreciendo una solución ecológica y de bajo costo.

**Palabras clave:** *Elodea Canadensis*, metales pesados, macrofita, fitorremediación, absorción atómica, contaminación.

## ABSTRACT

The present research work entitled “Evaluation of the capacity of absorption of heavy metals of the plant *Elodea canadensis* or Peste de agua through laboratory tests in Retamayoc – Tomayquichua, Ambo (Huanuco) - 2019” and that was developed in the sector of Retamayoc which is located in the district of Tomayquichua, aims to determine the capacity of *Elodea Canadensis* to absorb heavy metals, in order to evaluate its viability to implement this plant in phytoremediation projects in water bodies affected by metal contamination.

The research was developed based on the quantitative approach, applied type, experimental design, exploratory, descriptive and explanatory level, for the research 20 samples of *Elodea Canadensis* were collected and exposed to a solution containing lead, copper and iron and then through laboratory tests analyze the reduction of the concentration of metals in the water monthly. The results showed that the *Elodea Canadensis* in environmental conditions such as those of Tomayquichua has a good capacity to absorb heavy metals, being more effective in the uptake of lead compared to copper and iron; achieving an absorption efficiency of lead of 55.97%, copper of 50.72% and iron of 34.35%.

It is therefore concluded that *Elodea canadensis* is a promising option for phytoremediation playing a crucial role in the cleanup and restoration of water resources affected by heavy metal contamination, offering an environmentally friendly and low-cost solution.

**Key words:** *Elodea Canadensis, heavy metals, macrophyte, phytoremediation, atomic absorption, contamination.*

## INTRODUCCION

En el contexto del incesante aumento de la contaminación de los cuerpos de agua por metales pesados que afecta tanto a los ecosistemas como a la salud humana, es imprescindible abordar soluciones sostenibles que permitan afrontar con éxito esta problemática. Un enfoque prometedor que se muestra para dar solución de manera natural y efectiva a esta contaminación es la fitorremediación que utiliza las plantas para remediar suelos y cuerpos de agua que se ven perjudicados por la acumulación de metales pesados y otros contaminantes.

Existen una gran variedad de plantas acuáticas que pueden ser utilizadas para poder recuperar cuerpos de agua contaminados, pero no todas las plantas acuáticas tienen la misma capacidad de absorción, es decir, no todas las plantas tienen la misma eficacia para capturar y eliminar los metales pesados en el agua. Así mismo, el tiempo durante el cual las raíces de las plantas están en contacto con las aguas que contienen metales pesados influyen en la cantidad de metal que la planta pueda absorber.

Por lo tanto, debido a su capacidad para adaptarse a distintas condiciones ambientales, la presente investigación se ha centrado en evaluar la capacidad que tiene la planta acuática *Elodea Canadensis* mediante pruebas de laboratorio para absorber metales pesados del agua a las condiciones ambientales de Tomayquichua.

Por lo tanto, este estudio se dividió en los siguientes capítulos: Capítulo I Problema de Investigación, Capítulo II Marco Teórico, Capítulo III Metodología y Técnicas de Investigación y Capítulo IV Resultados y Discusión. Los datos capturados durante las 6 semanas que duro la investigación permitieron determinar que la *Elodea Canadensis* presenta un buen potencial absorber y eliminar metales pesados del agua a través de sus extensos y densos sistemas de raíces. Convirtiéndose así en una opción efectiva para la fitorremediación de contenidos metálicos en los recursos hídricos.

**El autor**



## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCION	
ÍNDICE	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	

## CAPITULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema .....	1
1.2. Delimitación de la investigación .....	3
1.2.1. Delimitación tecnológica .....	3
1.2.2. Delimitación territorial o espacial .....	3
1.2.3. Delimitación temporal .....	3
1.3. Formulación del problema.....	4
1.3.1. Problema general .....	4
1.3.2. Problemas específicos.....	4
1.4. Formulación de objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos .....	4
1.5. Justificación de la investigación .....	5
1.5.1. Justificación teórica .....	5
1.5.2. Justificación practica.....	5
1.5.3. Justificación metodológica .....	6
1.6. Limitaciones de la investigación.....	6

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

2.1.	Antecedentes de estudio .....	7
2.1.1.	Antecedentes internacionales .....	7
2.1.2.	Antecedentes nacionales .....	9
2.2.	Bases teóricas – científicas .....	11
2.2.1.	Broza del Canadá, peste de agua (Elodea Canadensis) .....	11
2.2.2.	Fitorremediación .....	13
2.2.3.	Ventajas y desventajas de la Fitorremediación .....	16
2.2.4.	Tipos de plantas acuáticas (macrófitas) .....	17
2.2.5.	Uso de plantas acuáticas para la eliminación de metales pesados del agua y aguas residuales .....	18
2.2.6.	Mecanismo de absorción de metales .....	19
2.2.7.	La influencia de factores abióticos y bióticos en las características de sorción de macrófitas .....	20
2.2.8.	Resistencia y reacciones de las macrófitas a la presencia de metales pesados en su entorno .....	20
2.3.	Definición de términos básicos .....	21
2.3.1.	Macrófitas acuáticas .....	21
2.3.2.	Metales pesados .....	22
2.3.3.	Sorción .....	22
2.3.4.	Adsorción .....	22
2.3.5.	Absorción .....	22
2.3.6.	Capacidad de adsorción .....	22
2.3.7.	Tiempo de contacto .....	22
2.4.	Formulación de hipótesis .....	23
2.4.1.	Hipótesis general .....	23
2.4.2.	Hipótesis específicas .....	23

2.5. Identificación de Variables .....	23
2.5.1. Variable dependiente .....	23
2.5.2. Variable Independiente .....	23
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	24

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION**

3.1. Tipo de investigación .....	25
3.2. Nivel de investigación .....	25
3.3. Métodos de investigación .....	25
3.4. Diseño de investigación .....	26
3.5. Población y muestra .....	26
3.5.1. Población.....	26
3.5.2. Muestra .....	26
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	26
3.6.1. Técnicas de recolección de datos.....	26
3.6.2. Instrumentos de recolección de datos.....	27
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación .....	27
3.7.1. Procedimiento de Selección.....	27
3.7.2. Procedimiento de Validación.....	27
3.7.3. Procedimiento de confiabilidad de los instrumentos de investigación ...	28
3.8. Técnica de procesamiento y análisis de datos .....	28
3.8.1. Técnicas de procesamiento .....	28
3.8.2. Análisis de datos.....	28
3.9. Tratamiento estadístico.....	28
3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica.....	29

### **CAPITULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Descripción del trabajo de campo .....	30
---	----

4.1.1.	Descripción del área donde se llevó a cabo la investigación.....	30
4.1.2.	Selección y recolección de plantas .....	31
4.1.3.	Acondicionamiento de las plantas.....	32
4.1.4.	Preparación de soluciones metálicas.....	33
4.1.5.	Recolección de muestras.....	37
4.1.6.	Análisis de laboratorio.....	38
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	38
4.2.1.	Análisis de la influencia de la temperatura y el pH en las concentraciones de metales pesados.....	39
4.2.2.	Eficiencia de absorción de la Elodea Canadensis.....	42
4.3.	Prueba de hipótesis .....	43
4.4.	Discusión de resultados.....	45

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Taxonomía de la Elodea Canadensis o peste de agua .....	11
<b>Tabla 2:</b> <i>Principales ventajas y desventajas de la fitorremediación</i> .....	16
<b>Tabla 3:</b> <i>Operacionabilidad de Variables</i> .....	24
<b>Tabla 4</b> <i>Componentes de la solución nutritiva</i> .....	32
<b>Tabla 5</b> ECA Agua – Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales .....	34
<b>Tabla 6:</b> ECA Agua – Categoría 4: Conservación del ambiente acuático .....	34
<b>Tabla 7</b> <i>Resultados del Análisis físico - químico</i> .....	39
<b>Tabla 8</b> <i>Resultados del porcentaje de absorción de la Elodea Canadensis</i> .....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Vista panorámica de la ciudad de Tomayquichua .....	3
<b>Figura 2:</b> Peste de agua o Elodea Canadensis, primer plano mostrando hojas con ápice obtuso o casi redondeado y tallo.....	12
<b>Figura 3:</b> Representación de los mecanismos de fitorremediación y posibles destinos de los contaminantes durante la fitorremediación: el contaminante (representado por círculos rojos) puede ser estabilizado o degradado en la rizosfera, secuestrado o degradado dentro del tejido vegetal, o volatilizado.....	15
<b>Figura 4:</b> Tipos de macrófita: a) emergentes, b) arraigadas flotantes, c) sumergidas, d) flotantes .....	18
<b>Figura 5:</b> Esquema de espectrofotómetro de absorción atómica.....	38
<b>Figura 6:</b> Comparación de Niveles de Plomo, pH y Temperatura.....	39
<b>Figura 7:</b> Comparación de Niveles de Cobre, pH y Temperatura .....	40
<b>Figura 8:</b> Comparación de Niveles de Hierro, pH y Temperatura .....	41
<b>Figura 9:</b> Porcentaje de absorción de metales de la Elodea Canadensis .....	43

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

El agua es un recurso fundamental para el desarrollo y supervivencia de los seres vivos, sin embargo, en el último siglo la demanda por este recurso natural a nivel mundial ha crecido a un ritmo alarmante y no solo por el crecimiento poblacional sino también por el uso intensivo que se le está dando a este recurso en diversas actividades, originando que 4 mil millones de personas sufran durante al menos una vez al año la grave escasez de agua (Naciones Unidas,2019).

Por otro lado, el incremento de aguas residuales de origen domiciliario, combinadas con la filtración agrícola y descargas industriales que no tienen ningún tipo de tratamiento o no son tratadas eficientemente, han deteriorado la calidad del agua y contaminado los recursos hídricos en todo el planeta, ya que estas fluyen de regreso a los ecosistemas; lo que provoca que alrededor de 1.8 mil millones de personas utilizan una fuente de agua potable contaminada, ya

que cada vez es más difícil y desafiante garantizar el suficiente abastecimiento de agua para todos (Naciones Unidas,2018).

En el Perú, la situación con respecto a la contaminación del agua no es muy distinta a la de otros países, ya que datos obtenidos a partir de la encuesta Nacional de Hogares de 2018 (ENAH0) del INEI revelan que más de 3.6 millones de peruanas y peruanos no tienen acceso al agua potable. El aumento de los costos y la limitada eficacia de los tratamientos fisicoquímicos que causan el insuficiente y deficiente tratamiento de las aguas residuales domésticas y no domésticas principalmente de origen minero, manufacturero, pesquero y agrario, entre otros; solo han provocado que este problema sigue creciendo comprometiendo más el abastecimiento de agua potable a la población, la alteración de los hábitats, la pérdida de muchas especies de flora y fauna.

En los últimos años, a causa del déficit en el tratamiento de aguas residuales y los altos costos de los métodos convencionales, han impulsado la búsqueda de alternativas sustentables y de bajo costo que permitan tratar las aguas, como la fitorremediación que es una técnica efectiva y de bajo costo capaz de reducir y rehabilitar ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicos, a partir de plantas que pueden absorber, acumular y degradar contaminantes como metales pesados, metaloides, minerales esenciales en altas concentraciones, materiales radiactivos, herbicidas y pesticidas presentes en el agua.

Sin embargo, la capacidad de absorción, acumulación y degradación de los contaminantes por parte de las plantas varia significativamente entre especies, por lo que analizar y evaluar la capacidad de absorción de metales pesados de la ***Elodea Canadensis***, más conocida con el nombre común de “**Peste de agua**” que es una planta que puede desarrollarse sin ningún problema en zonas altas y frías como en los ríos de Cerro de Pasco y zonas templadas como Huánuco, será relevante para optimizar su implementación en



futuros proyectos de fitorremediación para recuperar ecosistemas acuáticos contaminados.

## 1.2. Delimitación de la investigación

### 1.2.1. Delimitación tecnológica

La técnica empleada en la investigación es la fitorremediación con plantas acuáticas, como la ***Elodea Canadensis***, que tienen la capacidad de absorber metales pesados que contaminan los cuerpos de agua como ríos, lagos, lagunas, y que son un riesgo para la salud humana y ecosistemas.

### 1.2.2. Delimitación territorial o espacial

La investigación se realizó específicamente en el sector de Retamayoc, distrito de Tomayquichua, dentro de la provincia de Ambo, región de Huánuco. A una altitud de 2041 m s. n. m. Esta localidad se encuentra a tan solo 18 kilómetros de distancia de la ciudad de Huánuco, un viaje relativamente corto.

**Figura 1:** Vista panorámica de la ciudad de Tomayquichua



### 1.2.3. Delimitación temporal

La investigación se lleva a cabo:

**Inicio:** 9 de octubre de 2019.

**Fin:** 20 de noviembre de 2019.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Cuál es la capacidad de absorción metálica que posee la Elodea Canadensis a las condiciones ambientales de Tomayquichua- Huánuco?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- a. ¿La planta Elodea Canadensis tendrá mayor capacidad de absorción sobre uno de los metales en investigación de laboratorio?
- b. ¿La planta Elodea Canadensis tendrá menor capacidad de absorción sobre uno de los metales en investigación de laboratorio?
- c. ¿La planta Elodea Canadensis de acuerdo a la capacidad de absorción metálica, se podrá recomendar preferentemente en la fitorremediación del contenido metálico de mayor absorción en los recursos hídricos?

### **1.4. Formulación de objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar experimentalmente la capacidad de absorción metálica de la Elodea Canadensis a las condiciones ambientales de Tomayquichua.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar si la planta Elodea Canadensis tendrá mayor capacidad de absorción sobre uno de los metales de los investigados.
- b. Determinar si la planta Elodea Canadensis tendrá menor capacidad de absorción sobre uno de los metales de los investigados.
- c. Determinar si la planta Elodea Canadensis se recomienda en la fitorremediación de los contenidos metálicos en los recursos hídricos a las condiciones del trabajo experimental realizado en el Distrito de Tomayquichua provincia de Ambo región Huánuco.

## **1.5. Justificación de la investigación**

### **1.5.1. Justificación teórica**

El aumento en la demanda hídrica por parte de la población en las últimas décadas y el ineficiente o inexistente tratamiento de las aguas residuales con métodos convencionales que suelen tener un alto costo y que llegan a generar también subproductos secundarios que demandan tratamientos adicionales, ha generado la búsqueda de nuevas alternativas para el tratamiento de aguas, como la fitorremediación que es una técnica donde se utilizan plantas que son capaces de retener contaminantes del agua siendo así una opción más económica y ambientalmente amigable para el tratamiento de las aguas contaminadas.

No obstante, las plantas tienen diferentes capacidades para poder absorber, acumular y degradar los contaminantes, por lo que el análisis de la capacidad de absorción de contaminantes de la ***Elodea Canadensis*** que es capaz de adaptarse en diversas condiciones climáticas permitirá obtener datos que servirán como base para ampliar los conocimientos de su eficiencia en la remoción de metales pesados de los recursos hídricos contaminados.

### **1.5.2. Justificación práctica**

El análisis de la capacidad de absorción de metales pesados de la planta ***Elodea Canadensis*** nos permite comprender mejor su comportamiento al entrar en contacto con aguas que contienen metales pesados, a partir de los datos obtenidos se puede determinar la eficacia y viabilidad de esta planta para la restauración de cuerpos de agua afectados a causa de las actividades humanas y fenómenos naturales, pudiendo así aplicar de manera efectiva esta planta para la fitorremediación en situaciones reales.

### **1.5.3. Justificación metodológica**

A partir de un enfoque experimental, utilizando métodos analíticos para cuantificar la capacidad de la **Elodea Canadensis** para absorber metales pesados en condiciones controladas, a partir de la toma y análisis de muestras regularmente proporcionarán datos precisos y confiables, permitiendo así una evaluación realista y reproducible de los resultados.

### **1.6. Limitaciones de la investigación**

En el estudio que se realiza puede presentar ciertas limitaciones:

- Falta de equipos de análisis de laboratorio para otros elementos metálicos contaminantes aparte de los considerados.
- Falta de reactivos y materiales (insumos) para realizar las pruebas.
- El factor económico es importante y decisivo en trabajos de investigación experimental debido al elevado costo que demandan los análisis químicos en laboratorios particulares.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1. Antecedentes de estudio

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

**Picco et al (2019)**, en una investigación señala que para estudiar la capacidad de absorción y translocación de dos especies de arsénico inorgánico **(As III, As V) y dos compuestos de arsénico orgánico: monometilarsonato (MMA) y dimetilarsinato (DMA) en la *Elodea Canadensis***, se adaptaron primero a las plantas al agua del grifo, para luego suplementar con dos concentraciones de As de 15 y 250  $\mu\text{g L}^{-1}$  y finalmente analizar a las especies inorgánicas y los compuestos orgánicos de arsénico en el agua y en los distintos órganos de la planta en diferentes periodos de tiempo. Concluyendo que la *Elodea Canadensis* tras una hora de exposición a 250  $\mu\text{g L}^{-1}$  de arsénico logra reducir su concentración hasta un 63.16% en el agua de cultivo y también fitofiltrar de manera eficaz el arsénico con concentraciones de 36  $\mu\text{g L}^{-1}$  del agua de grifo ubicada en un área endémica de arsénico hasta niveles indetectables (10  $\text{ng L}^{-1}$ ). Demostrando así que la *Elodea Canadensis* es eficaz para la fitofiltración de arsénico del agua acumulando este metal principalmente en sus raíces.

**Jaramillo et al (2015)**, en su investigación plantea que, para evaluar la capacidad de **Fitorremediación de mercurio a partir de Elodea sp.**, se expusieron a la planta con tallos de 35-36 cm a soluciones de  $\text{HgCl}_2$  en concentraciones de 0,39 mg/ml, 1,55 mg/ml y 6,25 mg/ml, llegando la planta a alcanzar una remoción del 100% a la concentración de 1,55 mg/ml. Los resultados obtenidos demuestran que la *Elodea sp.*, tiene capacidad para remover el mercurio a las concentraciones evaluadas mediante mecanismos de absorción y adsorción, y aunque a concentraciones muy altas la planta presenta toxicidad, el mecanismo de adsorción de esta sigue activo con un porcentaje de remediación menor. Por ende, se concluye que la ***Elodea sp.*** es una planta con un alto potencial para ser utilizada en el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio.

**Aguayo (2015)**, en su trabajo menciona que para lograr **determinar la acumulación de los metales pesados plomo, cadmio y cromo en la planta Pistia Stratiotes** conocida como Lechuga de Agua implementó un modelo experimental en el cual analizó la capacidad de la planta para desarrollarse en un medio donde las concentraciones de los metales fueron de 0.5 ppm, 1 ppm, 3 ppm, 5 ppm y 7 ppm y utilizó un equipo de absorción atómica para medir la cantidad de metales pesados que la planta puede acumular en sus hojas, tallo y raíz. Los resultados muestran que la cantidad de concentración de metales influyen en el crecimiento de la planta, pero no le ocasiona daños letales y que la concentración de cromo en las hojas, raíz y tallo de la planta fue de 88.43 ug/g, 140.955 ug/g y 640.061 ug/g respectivamente; la concentración de cadmio en el tallo, raíz y hojas de la planta fue de 685.59 ug/g, 32.29 ug/g y 42.22 ug/g respectivamente y la concentración de plomo en las hojas, raíz y tallo de la planta fue de 500.70 ug/g, 140.96 ug/g y 2800.14 ug/g respectivamente. Concluyendo así que la *Pistia Stratiotes* es efectiva para acumular metales

pesados, especialmente en el tallo, y puede ser utilizada para la fitorremediación de cuerpos de agua contaminados.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

**Bedoya (2019)**, refiere que para la evaluación de la ***Eichhornia Crassipes*** y ***Lemna Minor*** en la fitorremediación de metales pesados (aluminio, boro, hierro y manganeso) en el río Moquegua en el 2018, empleo un diseño experimental al azar con cuatro tratamientos y dos repeticiones. En donde, el trabajo experimental inicio derivando agua del río a una poza de fitorremediación donde se colocaron las plantas hasta cubrir toda la superficie por un período de 60 días. Se evaluaron cuatro tratamientos (0, 10, 20 y 30 días), recolectando muestras en el afluente y efluente siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales para su posterior análisis químico en el equipo de absorción atómica. Los resultados a los 10 días mostraron la remoción del 84.99% para el aluminio, 84.98% para el boro, 86.24% para el hierro y 85.79% para el manganeso; y al finalizar el estudio a los 30 días los resultados mostraron que estas tasas de remoción se incrementaron a 90.41% para el aluminio, 88.64% para el boro, 89.33% para el hierro y 94.71% para el manganeso. Demostrando así que tanto *Eichhornia Crassipes* como *Lemna Minor* cuentan con una notable capacidad para remover metales pesados del agua.

**Sandoval (2019)**, en su trabajo indica que para evaluar la Eficiencia del Jacinto de Agua (***Eichhornia Crassipes***) y Lenteja de Agua (***Lemna Minor L.***) en la remoción de cadmio en aguas residuales, empleo dos módulos piloto, uno que contenía la *Eichhornia Crassipes* y el otro que contenía la *Lemna Minor L.*; en donde se hizo circular agua simulada con concentración de 2 mg/l de cadmio por un periodo de 11 días, con muestreos cada dos (02) días, obteniéndose como resultado valores de parámetros físicos como pH, conductividad eléctrica, temperatura y valores de concentraciones de cadmio.

Los datos obtenidos mostraron que la *Eichhornia Crassipes* presenta una eficiencia de 83.57% mientras que *Lemna Minor L.* presenta eficiencia de 39.35%. Además, durante el ensayo el principal cambio morfológico observado fue la variación de color de las especies. Las evaluaciones y datos obtenidos de la investigación demuestran que la *Eichhornia crassipes* tiene una mayor eficiencia en la remoción de cadmio en comparación con *Lemna Minor L.*, por lo que se puede concluir que no todas las especies de macrofitas presentan la misma capacidad fitorremediadora ni la misma capacidad de adaptación a distintos tipos de agua con acumulación de ciertos metales pesados.

**Díaz (2012)**, en su trabajo de investigación manifiesta que con el objetivo de demostrar que la ***Typha Angustifolia* junto con la *Eichhornia Crassipes* y el tiempo de exposición, influyen en la adsorción del cadmio total presente en agua en condiciones de laboratorio** analizo en función al tiempo de exposición la capacidad que tenían las plantas acuáticas juntas y por separado para adsorber cadmio presente en una solución. Para ello, 60 pruebas fueron examinadas y se utilizó el análisis de varianza y regresión para el análisis estadístico de los datos. Los resultados mostraron que las plantas juntas actúan mucho mejor ya que fueron capaces de remover en 25 días el 91,88% de cadmio y por separado se determinaron que la *E. Crassipes*, remueve en promedio el 88.12% de cadmio y la *Typha Angustifolia* remueve en promedio un 79,64% durante un periodo de 25 días; demostrando que la *E. Crassipes* fue capaz de remover más cadmio que la *Typha Angustifolia*. Por consiguiente, la investigación demuestra que las dos plantas acuáticas estudiadas tienen distintas capacidades para absorber el contaminante, sin embargo, tanto juntas como separadas son eficaces y de bajo costo, siendo así prometedora su aplicación en la remediación de aguas contaminadas por las actividades antropogénicas.



## 2.2. Bases teóricas – científicas

### 2.2.1. Broza del Canadá, peste de agua (*Elodea Canadensis*)

“Es una planta herbácea acuática, dioica, enraizada en el fondo, con los tallos ramificados en los nodos y muy foliosos” (Sanz et al., 2004, p. 168).

**Tabla 1** *Taxonomía de la Elodea Canadensis o peste de agua*

ELODEA CANADENSIS	
<b>PHYLUM:</b>	Magnoliophyta
<b>CLASE:</b>	Liliopsida
<b>ORDEN:</b>	Hydrocharitales
<b>FAMILIA:</b>	Hydrocharitaceae

Presentan tallos delgados, sin hojas cerca de la base y una longitud generalmente entre 20 y 100 cm. Las hojas suelen disponerse en verticilos de tres, pero hay veces están opuestas en la parte inferior del tallo. Los verticilos se encuentran separados del tallo inferior hasta 2 cm, volviéndose más densos hacia la parte superior del tallo. Los extremos de los tallos forman yemas invernales densamente agrupadas. Las hojas son recurvadas, delgadas, lanceoladas a oblongas, de 5 a 17 mm de longitud de 1,75 a 5 mm de ancho, con márgenes finamente dentados. La *Elodea Canadensis* se reproduce por semillas, dispersadas por el viento y el agua, como de forma vegetativa a través de fragmentos de tallo con capacidad de enraizamiento y yemas de brotes condensados que se desprenden de las plantas madres y arraigan en los nodos, también produce yemas vegetativas que pueden sobrevivir a la desecación y bajas temperaturas, siendo dispersadas por la vida silvestre hacia nuevos cuerpos de agua. Esta planta crece activamente en aguas estancadas o de corriente lenta, como lagos, lagunas, embalses, estanques y canales. Se desarrolla en una variedad de ambientes acuáticos y puede sobrevivir hasta

inclusive en climas fríos, ya que puede crecer lentamente bajo capas de hielo y pasar el invierno en temperaturas de agua entre 1°C y 4°C. Si bien la *Elodea Canadensis* puede sobrevivir en muchas condiciones, esta se desarrollará mejor en limos en aguas mesotróficas con un pH entre 6.5 y 10 con temperaturas para su crecimiento que esta entre 10°C y 25°C. Además, crece puede crecer en aguas con profundidad de 1 a 8 m, aunque se ha demostrado que puede crecer en aguas de hasta 12 m de profundidad (Klein, 2011).

**Figura 2:** *Peste de agua o Elodea Canadensis, primer plano mostrando hojas con ápice obtuso o casi redondeado y tallo*



*Nota.* Adaptado de *Elodea Canadensis* [Fotografía], por F. Froh, 2005, Calscape (<https://legacy.calscape.org/view.php?pl=1377&img=13591>)

Esta especie de planta durante los meses de mayo a agosto llega a florecer y además tiende a preferir la luz natural y la exposición al sol, ya que la sombra puede llegar a afectarla de manera negativa. Es un excelente bioindicador de calidad ya que la contaminación en el agua no la tolera, sin embargo, puede llegar a desplazar y reducir la flora acuática local, ya que esta especie de planta tiene una gran capacidad de establecimiento y proliferación. Así mismo, también

puede llegar a reducir la fauna acuática al llegar a privar a gran variedad de peces e invertebrados de su fuente de alimento habitual (Sanz et al., 2004).

### **2.2.2. Fitorremediación**

De acuerdo con Nuñez et al. (2004), la fitorremediación es una técnica donde se emplean plantas in situ para disminuir la concentración de diversos contaminantes, ya sean orgánicos o inorgánicos, que se encuentren en el agua, aire, suelo y sedimentos; para ello las plantas y microorganismos asociados a sus raíces realizan procesos bioquímicos que hacen que las diferentes clases de contaminantes se reduzcan, mineralicen, degraden, volatilicen o estabilicen recuperando así áreas contaminadas.

“Se han identificado una amplia diversidad de especies que se emplean para este fin. Algunas de ellas, debido a su gran capacidad para acumular metales pesados, reciben el nombre de hiperacumuladoras” (Delgadillo et al., 2011, p. 597).

Thangavel y Subhuram (2004) indican que, de acuerdo al contaminante presente, las características del área que se desea recuperar, a la disminución en la concentración de contaminantes y las especies de plantas elegidas; la fitorremediación puede clasificarse como:

#### **a. Medio de contención:**

- **Rizofiltración:** técnica en donde se cultivan ciertas plantas que tienen capacidad de desarrollarse en el agua o un medio acuoso para aprovechar la capacidad que tienen las raíces de estas plantas con rápido crecimiento y una extensa superficie de contacto para absorber, concentrar y precipitar los contaminantes (Nuñez et al., 2004).
- **Fitoestabilización:** técnica donde se utilizan plantas con un sistema de raíces profundas y extensas para que la disponibilidad de contaminantes disminuya por medio de mecanismos de secuestro, lignificación o humidificación. Las plantas extraen la humedad del suelo

a través de la evotranspiración, lo que mantiene la zona radicular constantemente húmeda, creando las condiciones ideales para que los contaminantes disminuyan su movilidad, ya sea por reacciones químicas como precipitación o por procesos físicos como adsorción. De este modo, quedan fijados los contaminantes fuertemente en las raíces las plantas o en la materia orgánica del suelo, limitando su disponibilidad biológica y la migración hacia las aguas subterráneas (Nuñez et al., 2004).

- **Fitoimmobilización:** técnica que contribuye a disminuir la disponibilidad y la movilidad de contaminantes en el suelo. Esto se logra a través la producción de sustancias químicas en la zona de contacto entre el suelo y las raíces de las plantas. Estas sustancias tienen la capacidad de inactivar los compuestos tóxicos, ya sea por medio absorción, adsorción o precipitación (Delgadillo et al., 2011).

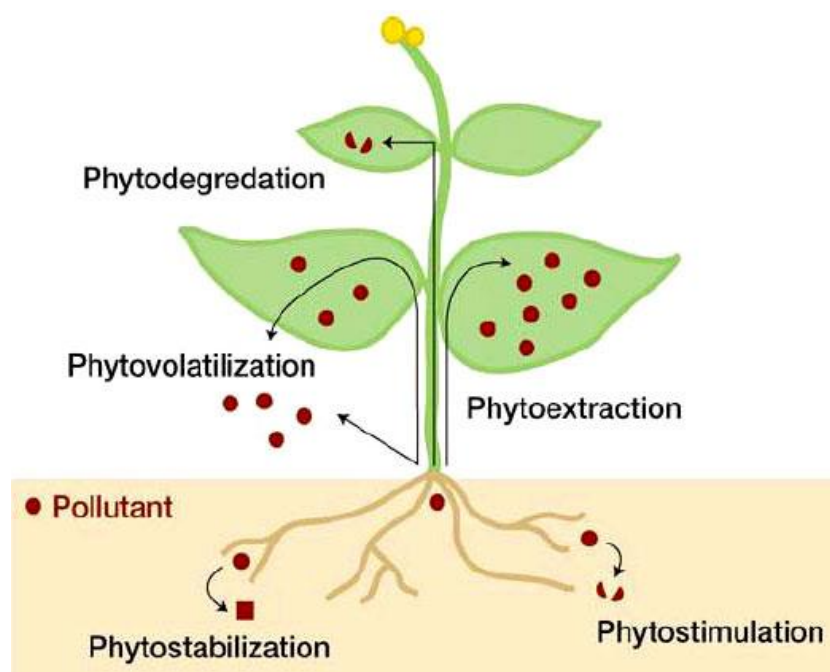
**b. Medio de Eliminación:**

- **Fitodegradación o fitotransformación:** técnica en donde se utilizan plantas que se encargan de absorber y almacenar en sus vacuolas o fijarlas a sus estructuras celulares insolubles, como la lignina para posteriormente degradar o transformar en sustancias menos peligrosas diversos tipos de contaminantes orgánicos como hidrocarburos del petróleo, plaguicidas, detergentes entre otros; mediante reacciones enzimáticas llevadas a cabo por las plantas y los microorganismos en zonas del suelo cercanas a las raíces, donde estos contaminantes son parcial o totalmente degradados o modificados (Nuñez et al., 2004).
- **Fitoextracción o fitoacumulación:** técnica que utiliza plantas con capacidad de almacenar en sus hojas, tallos y raíces metales pesados principalmente, pero también algunos contaminantes orgánicos y elementos e isótopos radiactivos. Usualmente la fitoextracción se utiliza

para eliminar de los suelos contaminados los metales, no obstante, este método se puede implementar también en el tratamiento de aguas contaminadas (Nuñez et al., 2004).

- **Fitovolatilización:** técnica donde se utilizan plantas que tienen la capacidad de transformar y liberar a la atmósfera ciertos contaminantes tóxicos, como el mercurio y el selenio, que se encuentran en el suelo, los sedimentos o el agua. Estos contaminantes son absorbidos por las raíces, metabolizados por la planta y transportados hacia las partes superiores, donde se liberan en formas volátiles que son menos tóxicas o peligrosas en comparación con sus formas oxidadas. Este proceso, ocurre principalmente en la raíz y se lleva a cabo durante la transpiración de la planta (Nuñez et al., 2004).

**Figura 3:** Representación de los mecanismos de fitorremediación y posibles destinos de los contaminantes durante la fitorremediación: el contaminante (representado por círculos rojos) puede ser estabilizado o degradado en la rizosfera, secuestrado o degradado dentro del tejido vegetal, o volatilizado



*Nota.* Adaptado de “Phytoremediation” (p.19), por E. Pilon, 2005, Revista anual de biología vegetal, 56

### 2.2.3. Ventajas y desventajas de la Fitorremediación

La fitorremediación al igual que otras técnicas para tratar ambientes contaminados muestran una serie de ventajas y desventajas, las cuales se presenta en la tabla 2:

**Tabla 2** Principales ventajas y desventajas de la fitorremediación

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Es una sustentable técnica.</li><li>• Es eficaz para un tratamiento in situ de diversas clases de contaminantes.</li><li>• Es usada en áreas con degradación de baja a moderada.</li><li>• Es de bajo costo.</li><li>• Es poco perjudicial para el ambiente y causa poca perturbación del lugar.</li><li>• No genera contaminantes secundarios.</li><li>• Tiene potencial para tratar una amplia gama de materiales peligrosos.</li><li>• Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales).</li><li>• Emplea la energía solar; y los procesos biológicos, químicos y físicos de las plantas para lograr la remediación.</li><li>• Las plantas soportan niveles más elevados de sustancias orgánicas contaminantes en comparación con la mayoría de los microorganismos.</li><li>• Es una técnica que actúa en conjunto con la revegetalización y la biodegradación.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Es un proceso relativamente lento.</li><li>• Comparada con otras tecnologías convencionales esta requiere periodos de tiempo más largos.</li><li>• Es dependiente de las estaciones.</li><li>• El crecimiento de la vegetación puede estar limitado por extremos de la toxicidad ambiental.</li><li>• En algunos casos, durante el otoño los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados de nuevo al ambiente.</li><li>• No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.</li><li>• Se requieren áreas con una buena extensión.</li><li>• Puede contribuir al incremento de mosquitos.</li><li>• Las raíces no pueden penetrar bajo condiciones donde la textura del suelo, volumen de agua o proporciones de respiración microbianas son altas.</li><li>• El suelo está sujeto a erosión durante las fases tempranas de establecimiento de la planta.</li></ul>

*Nota.* Adaptado de Bernal (2014)

#### **2.2.4. Tipos de plantas acuáticas (macrófitas)**

De acuerdo a sus características y su adaptación, en la fitorremediación acuática las plantas que se utilizan pueden clasificarse en:

##### ***Emergentes***

Sus raíces están enterradas en los sedimentos, mientras la parte superior se extiende por encima de la superficie del agua y en la parte aérea de la planta se encuentran sus estructuras de reproducción.

##### ***Flotantes***

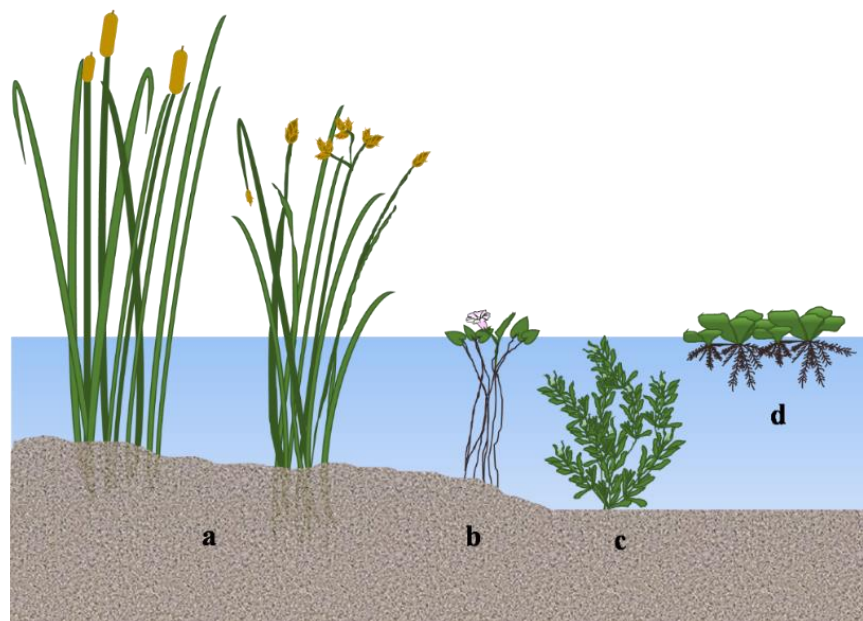
Se dividen en dos clases:

- a. Plantas de libre flotación (no fijas):** sus raíces están colgando en el agua, ya que no se fijan a algún sustrato y a nivel de la superficie del agua las hojas y tallos se desarrollan.
- b. Plantas de hoja flotante (fijas):** sus raíces se encuentran fijadas en los sedimentos y sus hojas flotan en la superficie del agua.

##### ***Sumergidas***

Crecen sumergidas completamente en el agua o debajo de su superficie y pueden emerger, quedar en la superficie del agua o estar completamente sumergidos sus órganos reproductores (Garfias, 2018).

**Figura 4:** *Tipos de macrófita: a) emergentes, b) arraigadas flotantes, c) sumergidas, d) flotantes*



*Nota.* Adaptado de “Humedales artificiales y celdas de combustibles microbianas como sistemas individuales y combinados para el tratamiento de aguas residuales: una revisión” (p.20), por K. Montenegro et al., 2019, InfoANALITICA, 7(2)

#### **2.2.5. Uso de plantas acuáticas para la eliminación de metales pesados del agua y aguas residuales**

En la fitorremediación las plantas acuáticas utilizadas tienen que ser resistentes a las concentraciones altas de sustancias tóxicas y capaces de absorber diversos contaminantes. Las plantas también deben tener una alta capacidad de biodegradación, incluso a bajos niveles, crecer rápido, producir mucha biomasa, y tolerar enfermedades, plagas y condiciones ambientales adversas. Algunas plantas pueden fijar contaminantes en sus células, mientras otras los absorben como una adaptación natural a entornos contaminados.

La depuración de aguas contaminadas, esencialmente de metales pesados con el uso de diversas plantas acuáticas, en los últimos años se ha vuelto más relevante, debido a la ventaja que presenta en comparación con los métodos tradicionales de limpieza en cuanto costos y simplicidad. Además, no



se requieren condiciones especiales en cuanto al suministro de nutrientes para las plantas que participan en el proceso de depuración.

Los estudios sobre el uso de plantas acuáticas en la depuración de aguas tienen como objetivo evaluar su capacidad para eliminar metales pesados, determinar la velocidad del proceso, analizar cómo altas concentraciones de contaminantes afectan a su morfología y fisiología, y examinar la posibilidad de reutilizar la misma biomasa vegetal en múltiples ciclos. Las pruebas de laboratorio han demostrado que ciertas plantas acuáticas pueden hiperacumular metales pesados en sus tejidos. Tal es el caso de *Elodea Canadensis* Michx., que es capaz de acumular grandes cantidades de cobre, zinc y cadmio. Incluso en presencia de altas concentraciones de cobre y zinc, el crecimiento de esta planta no se detiene y continúa acumulando metales. Otros estudios también han comprobado la habilidad de *Elodea Canadensis*, así como de *Lemna Minor* y *Leptodictyum Riparium*, para hiperacumular cromo, cobre, zinc, cadmio y plomo (Krems et al., 2013).

#### **2.2.6. Mecanismo de absorción de metales**

Los mecanismos para realizar la depuración del agua con plantas acuáticas serán la filtración, la sedimentación de sólidos, la absorción de nutrientes y la de degradación de materia orgánica con la ayuda de microorganismo presentes en las raíces. En relación a los metales se cree que estos se unen a los aminoácidos dentro de las células vegetales. Además, la interacción entre los microorganismos y las raíces producen sólidos que se agrupan y se hunden por gravedad. Algunos metales incluso se transforman en gases y se liberan a la atmósfera a través del proceso de fitovolatilización. Para la extracción del agua de metales pesados como el mercurio este método ha sido utilizado. Las plantas han desarrollado mecanismos especiales para manejar y transportar metales pesados dentro de sus sistemas. Algunas proteínas clave, como las ATP - asasa, CPX y NRAMP, juegan un papel

fundamental en mantener el equilibrio de los iones metálicos y ayudar a las plantas a tolerar la presencia de elementos en su entorno (Alfaro et al., 2019).

#### **2.2.7. La influencia de factores abióticos y bióticos en las características de sorción de macrófitas**

Las plantas acuáticas acumulan metales pesados en condiciones naturales influenciada por diversos factores abióticos, tales como el pH, la presencia de otros cationes en las aguas, la temperatura, la intensidad de la luz fotosintética y el período de exposición. Además, los factores bióticos, como su capacidad de hiperacumulación y resistencia a altas raciones de contaminantes, así como sus mecanismos de almacenamiento y detoxificación de metales, también influyen en este proceso. Asimismo, la interacción con otros compuestos presentes en la célula vegetal es otro factor a considerar (Krems et al., 2013).

#### **2.2.8. Resistencia y reacciones de las macrófitas a la presencia de metales pesados en su entorno**

Para los organismos vivos como la plantas los metales pesados tales como Fe, Mn, Cu, Zn, Mo y Co juegan un importante papel en cantidades adecuadas, formando compuestos organometálicos necesarios para la estructura y el funcionamiento normal de las enzimas. Sin embargo, en altas concentraciones, estos metales son tóxicos y dañan las células de la raíz al cambiar la permeabilidad de la membrana celular y ralentizar el transporte de electrones durante la fotosíntesis.

No obstante, las plantas acuáticas han desarrollado sistemas efectivos de defensa para poder desarrollarse en habitats con elevados niveles de concentración de metales pesados. Estos incluyen mecanismos que impiden la entrada de iones metálicos, la captación de metales en las membranas celulares por ácidos orgánicos y aminoácidos, aumentan la biosíntesis de glutatión y la producción y activación de partículas antioxidantes y enzimas.

Como ejemplo tenemos a la *Elodea Canadensis* que ampliamente ha sido estudiado por sus cambios anatómicos, morfológicos y fisiológicos como resultado de metales pesados. Y como resultado se encontraron es altamente tolerante a ciertos metales sin mostrar síntomas de estrés oxidativo o daño a la membrana celular.

*Myriophyllum spicatum* es otra macrófita estudiada usualmente, en donde se encontraron grupos carboxilo, carbonilo e hidroxilo, responsables de la fijación de cationes. Además, se sugirió la participación de ácidos grasos aromáticos en este proceso. En los estudios de las macrófitas *Myriophyllum Aquaticum* se han observado una disminución en la cantidad de pigmentos fotosintéticos en clorofila a y b, así como daños en su estructura. Lo que sugiere que este fenómeno puede ser a causa por la sustitución de iones de magnesio por metales pesados en las partículas de clorofila, lo que ocasiona una captura menor de fotones y limita la fotosíntesis. Inclusive en concentraciones bajas, algunos metales pesados pueden causar estrés oxidativo, deteniendo la biosíntesis de clorofila y acelerando la peroxidación de lípidos, lo que provocaría daños en las membranas celulares.

La tolerancia relativa que la *Elodea Canadensis* y *Myriophyllum Aquaticum* muestran al contenido de metales pesados de su entorno, junto con su capacidad para adsorber cationes directamente del agua en toda su superficie, sugiere que estas especies pueden ser utilizadas eficazmente para el tratamiento de la contaminación de aguas superficiales con estos contaminantes (Krems et al., 2013).

## **2.3. Definición de términos básicos**

### **2.3.1. Macrófitas acuáticas**

Son formas macroscópicas de vegetación acuática, representando aproximadamente el 1% de la flora vascular y juegan un rol esencial como

productores primarios en los ecosistemas lacustres, junto al fitoplancton y el perifiton (Alfaro et al., 2019).

### **2.3.2. Metales pesados**

Los metales de gran peso y densidad, excluyendo a los grupos alcalinos y alcalinotérreos, se conocen como metales pesados y la su solubilidad en las aguas superficiales depende del pH, el tipo de sustancias que los acompañan, el estado de oxidación de las sales y las condiciones redox del sistema (Espinoza, 2014).

### **2.3.3. Sorción**

Es un fenómeno que puede ser absorción o adsorción, o una combinación de ambas y el término es usado generalmente cuando se desconoce el mecanismo específico (Lewis, 2016).

### **2.3.4. Adsorción**

La adsorción es un fenómeno superficial que ocurre cuando las moléculas del adsorbato se concentran en la superficie del adsorbente (Carranza et al., 2014).

### **2.3.5. Absorción**

La absorción es el fenómeno fisicoquímico en donde las moléculas del sorbato se integran completa y uniformemente dentro del sorbente (Doménech y Peral, 2006).

### **2.3.6. Capacidad de adsorción**

Es la cantidad máxima de adsorbato que puede retener un adsorbente, determinada a partir de las características y la concentración del adsorbato (Bonilla et al., 2017).

### **2.3.7. Tiempo de contacto**

Tiempo que transcurre para que el adsorbato se adhiera a la superficie del adsorbente hasta alcanzar el punto de equilibrio. (Bonilla et al., 2017).

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La planta acuática *Elodea Canadensis* tiene una gran capacidad de absorción metálica en condiciones ambientales de Tomayquichua - Ambo, Huánuco.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- a. La planta *Elodea Canadensis* posee mayor capacidad de absorción sobre uno de los metales de los investigados.
- b. La planta *Elodea Canadensis* posee menor capacidad de absorción sobre uno de los metales de los investigados.
- c. La planta *Elodea Canadensis* se recomienda en la fitorremediación de los contenidos metálicos en los recursos hídricos.

## **2.5. Identificación de Variables**

### **2.5.1. Variable dependiente**

Capacidad de absorción, mg metal/L.

### **2.5.2. Variable Independiente**

Tiempo de contacto raíces – metálicos

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

**Tabla 3** Operacionabilidad de Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
<b>Variable Dependiente</b> Capacidad de absorción	Es la cantidad máxima de adsorbato que puede retener un adsorbente, determinada a partir de las características y la concentración del adsorbato (Bonilla et al., 2017).	Se determina la cantidad de metales en la solución utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica. La concentración del metal pesado absorbido por la Elodea Canadensis se indica en ppm y se expresa como un porcentaje tras un período de exposición entre la planta y la solución metálica.	Cantidad de metal absorbido por la planta Elodea Canadensis	Concentración de metal absorbido	ppm %
<b>Variable Independiente</b> Tiempo de contacto raíces – metálicos	Tiempo que transcurre para que el adsorbato se adhiera a la superficie del adsorbente hasta alcanzar el punto de equilibrio. (Bonilla et al., 2017).	Período durante el cual las raíces de la planta Elodea Canadensis están expuestas a la solución de metales pesados, medido en semanas.	Duración de exposición de las raíces de la planta Elodea Canadensis a los metales pesados	Duración de la exposición	días

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION**

##### **3.1. Tipo de investigación**

La investigación empleada es del tipo aplicada ya que con la evaluación de la capacidad de absorción de la *Elodea Canadensis* se busca generar conocimientos acerca de la efectividad de remediación que tiene esta macrófita en la remoción de metales pesados en aguas contaminadas y así pueda ser utilizada para la recuperación de cuerpos de agua y tratamiento de aguas residuales.

##### **3.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación es exploratorio, descriptivo y explicativo, ya que con el estudio se busca recolectar datos y describir la capacidad que tiene la especie acuática *Elodea Canadensis* para absorber diferentes clases de metales pesados, determinando cuáles son absorbidos en mayor o menor medida. Asimismo, a partir de los resultados obtenidos se podrá establecer si la *Elodea Canadensis* es viable y efectiva en la fitorremediación.

##### **3.3. Métodos de investigación**

El método empleado es el lógico – deductivo, debido a que a partir de principios generales conocidos sobre la capacidad de las macrofitas para

absorber metales se deducirán conclusiones específicas acerca de la capacidad de la *Elodea Canadensis* para absorber diferentes tipos metales pesados presentes en una solución en condiciones preparadas.

### **3.4. Diseño de investigación**

La investigación tiene un diseño experimental ya que conlleva a hacer una evaluación de la capacidad de absorción que tiene la *Elodea Canadensis* en una solución preparada con diferentes metales en condiciones preparadas.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población es la especie vegetal acuífera llamada *Elodea Canadensis* o peste acuática que abunda en las zonas húmedas de la localidad de Tomayquichu, La población es infinita debido a su abundancia, ya que es una especie acuática que prolifera desmedidamente con enraizamiento en recursos hídricos de poca movilidad iónica metálica en la zona de Tomayquichua.

#### **3.5.2. Muestra**

La muestra para esta investigación piloto sobre la capacidad de absorción de metales pesados, es de 20 plantas de *Elodea Canadensis* recolectadas de una acequia de Tomayquichua, que fueron seleccionadas de acuerdo a sus características y calidad, para garantizar el uso de ejemplares saludables. Además, debido a la rápida propagación de esta planta y las limitaciones en los recursos, el tamaño de la muestra permite un manejo eficiente y efectivo durante el desarrollo de la investigación.

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

#### **3.6.1. Técnicas de recolección de datos**

- **Observación:** Durante el desarrollo del experimento se monitoreo el crecimiento de las plantas para evaluar su desarrollo y cualquier cambio que pudiese presentar al estar en la solución metálica.



- **Recolección de Muestras:** Se recolectó durante el tiempo que se realizó el experimento 7 muestras de la solución metálica para analizar su concentración de metales pesados.
- **Análisis físico - químico:** con el pH – metro se tomó la medición del pH y la temperatura de la solución metálica y para el análisis químico se llevó las muestras al laboratorio de la UNAS para ser analizados en el equipo de absorción atómica.

### **3.6.2. Instrumentos de recolección de datos**

- Espectrofotómetro de Absorción Atómica
- pH – metro
- Balanza Analítica
- Cámara Fotográfica
- Recipientes de muestreo
- Libreta de apuntes

## **3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

### **3.7.1. Procedimiento de Selección**

Para la presente investigación se optó por tomar muestras de la macrófita *Elodea Canadensis* para analizar la efectividad que tiene para absorber metales pesados, pues la cantidad de cuerpos de agua contaminados sigue en aumento a causa del déficit en el tratamiento de aguas residuales y la poca información que se tiene acerca del uso de esta planta para recuperación de aguas contaminadas.

### **3.7.2. Procedimiento de Validación**

El asesor de la tesis será el encargado de la validación de la investigación.

### **3.7.3. Procedimiento de confiabilidad de los instrumentos de investigación**

Para garantizar la confiabilidad de la investigación realizada, se ha verificado por la unidad de investigación de la UNDAC.

## **3.8. Técnica de procesamiento y análisis de datos**

### **3.8.1. Técnicas de procesamiento**

- **Organización de Datos.-** Los datos obtenidos del análisis de las muestras en el equipo de absorción atómica de la UNAS sobre la concentración de metales se organizaron en una hoja de cálculo de Microsoft Excel para que el análisis y manejo de datos sea más fácil.
- **Creación de gráficos.-** Para obtener una mejor comprensión de los datos se construirán gráficos para visualizar la capacidad de absorción de cada metal e identificar cuáles de los metales son absorbidos en mayor o menor medida y como varían en el tiempo.

### **3.8.2. Análisis de datos**

Para el análisis de datos se aplicará la estadística descriptiva, que nos permitirá organizar, analizar y presentar la información de manera clara y concisa para una mejor comprensión e interpretación de los datos obtenidos de los resultados de laboratorio sobre la concentración de metales pesados en las muestras. La aplicación de este análisis estadístico será fundamental para evaluar la capacidad y eficacia de la *Elodea Canadensis* para absorber metales pesados disueltos en el agua.

## **3.9. Tratamiento estadístico**

El tratamiento estadístico se realizará utilizando el programa de Microsoft Excel que nos proporcionará diversas herramientas que nos permitirán realizar una interpretación y análisis más detallado de los datos recopilados. A través de la construcción de gráficos y tablas, podremos visualizar de manera precisa y

detallada los resultados obtenidos durante el estudio de la capacidad de absorción de metales pesados por parte de la macrófita *Elodea Canadensis*.

### **3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica**

Este proyecto de investigación se desarrolla de manera responsable y coherente con los lineamientos establecidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la UNDAC.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **4.1.1. Descripción del área donde se llevó a cabo la investigación**

###### ***Ubicación Geográfica***

“El Distrito de Tomayquichua se encuentra situado al lado derecho del río Huallaga, a una distancia de 19 kilómetros de Huánuco y 4,5 kilómetros al norte de la provincia de Ambo. Está emplazado en la vertiente oriental de los Andes peruanos, la cual forma parte de la cadena montañosa de microcuencas y cuencas tributarias del río Huallaga. Su capital es la ciudad de Tomayquichua. Según las coordenadas del Meridiano de Greenwich, la ubicación exacta del distrito se encuentra entre los paralelos de latitud sur (10°02'00" y 10°05'00") y longitud oeste (76°08'00" y 76°13'00")” (Dirección Regional de Salud Huánuco, 2014, p. 14).

###### ***Limites***

“El distrito de Tomayquichua limita por el Sur con el distrito de Ambo, por el Norte con el distrito de Conchamarca, por el Este con el distrito de Molinos y por el Oeste con la Provincia de Huamalies” (Dirección Regional de Salud Huánuco, 2014, p. 18).

### ***Clima y Temperatura***

Según el informe de la Dirección Regional de Salud de Huánuco (2014) indican que:

En el distrito de Tomayquichua, tiene un clima semi tropical y templado, se ubica en la región de sierra y en las sub regiones de Yunga, quechua y Suni. Presenta dos estaciones: Una seca en "Verano" (meses de mayo a setiembre) y otra húmeda en "Invierno" (Octubre a Abril).

Las precipitaciones pluviales son desde 600 hasta 3000mm. Durante los meses de verano e invierno. La humedad relativa mayor es de 100% y la menor es de 50% y genera temperaturas mínimas de hasta 4°C y máximas de 25°C con una media de 15°C respectivamente. (p.18)

#### **4.1.2. Selección y recolección de plantas**

Para iniciar con la selección y recolección de plantas que fueron utilizadas en la investigación se procedió con la identificación de una acequia en Tomayquichua que cuente con una gran cantidad de la macrófita Elodea Canadensis y además se verifico que el entorno donde se encuentran estas plantas no esté siendo contaminadas con fuentes externas y que el sitio sea accesible.

Las plantas seleccionadas a ser recolectadas fueron las que presentaron un buen color verde, con hojas que estuviesen intactas y que no presentaran algún signo de enfermedad o daño. También para la investigación se prefirió recolectar plantas con un similar tamaño y con un buen desarrollo adecuado de sus raíces.

Una vez identificadas las plantas a ser recolectadas para ser utilizadas en la investigación se procedió a recogerlas con sumo cuidado asegurándose de no dañar las hojas y las raíces, para luego colocarlas en una cubeta que contenía agua de la acequia que nos sirve para trasladar las plantas al lugar donde se desarrollara la investigación.

#### 4.1.3. Acondicionamiento de las plantas

Acondicionar de manera adecuada a las plantas de *Elodea Canadensis* es fundamental para garantizar que estén en óptimas condiciones para poder realizar el experimento de su capacidad de absorción de metales pesados. Por lo cual, se preparó una solución nutritiva que contenga los elementos minerales necesarios para el desarrollo de la planta acuática; siguiendo la metodología de la solución Knop, que se utiliza en cultivos hidropónicos, cuyas cantidades se representa en la tabla 4:

**Tabla 4** Componentes de la solución nutritiva

<b>MACRONUTRIENTES</b>	
<b>Nutriente químico</b>	<b>Concentración g/L</b>
Nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ )	0,5
Fosfato monopotásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )	0,2
Sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	0,2
Nitrato de calcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )	0,4
<b>MICRONUTRIENTES</b>	
<b>Nutriente químico</b>	<b>Concentración g/L</b>
Sulfato de hierro ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	0,01
Ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )	0,002
Sulfato de manganeso ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )	0,002
Sulfato de zinc ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	0,001
Sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )	0,0005
Molibdato de sodio ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	0,0002

Para preparar 1 litro de la solución nutritiva se realizó el pesado de cada uno de los nutrientes químicos con las cantidades que se indican en la tabla 2, después se comenzó con disolver cada uno de los macronutrientes en agua destilada aproximadamente en unos 500 ml, luego se agito bien hasta que se disuelvan por completo. Seguidamente en otro recipiente se disolvió los micronutrientes en agua destilada aproximadamente en unos 200 ml y también se agito para que estos queden disueltos completamente. Luego que ambas

soluciones estuviesen completamente listas, se procedió a realizar la mezcla de las dos soluciones en 300 ml de agua destilada asegurando de agitarlo bien para obtener una solución homogénea. Y finalmente se ajustó el pH de la solución ya que este debe estar en un rango de 5.5 y 7.5, para ello se utilizará hidróxido de sodio (NaOH) según sea necesario.

Una vez lista la solución nutritiva esta será vertida en una cubeta lo suficientemente grande para que las planta se mantengan sumergidas sin estar demasiado juntas.

Las plantas de Elodea Canadensis fueron lavadas cuidadosamente con agua destilada para eliminar cualquier residuo o contaminante superficial, para que finalmente sean colocadas en la cubeta que contiene la solución nutritiva preparada teniendo en cuenta que las raíces deben de estar sumergidas por completo, las hojas tengan una buena exposición de luz y que cada planta tenga el suficiente espacio para poder desarrollarse.

#### **4.1.4. Preparación de soluciones metálicas**

Para la preparación de las soluciones metálicas tomaremos los valores máximos permisibles establecidos en el D.S N° 004 – 2017 – MINAM que Aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en la **Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales – Subcategoría: D1: Riego de vegetales** y en la **Categoría 4: Conservación del ambiente acuático – Subcategoría: E1: Lagunas y lagos**. En base a la normativa la concentración de metales en el agua sería las que se muestran en la tabla 5 y tabla 6:

**Tabla 5 ECA Agua – Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales**

Parámetro	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebidas	
		Agua riego restringido	para no riego restringido	Agua para riego restringido	de animales
Inorgánicos					
Hierro	mg/L		5		**

*Nota.* Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

**Tabla 6: ECA Agua – Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

Parámetro	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Inorgánicos						
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081

*Nota.* Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

Una vez conocida la concentración que tiene que tener cada metal pesados en el agua se procederá a la deshidratación de las sales de Nitrato de plomo ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ), Nitrato de Cobre (II) ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ) y Nitrato de Hierro ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ) ya que a partir de ellas se conseguirán las correctas concentraciones de los iones metálicos.

La deshidratación de las sales se realizó en la secadora eléctrica a 110 °C hasta que la masa sea constante y adopten un color blanco. Esto permitió que las formas moleculares fueran equivalentes a las especies iónicas metálicas necesarias.

- a. **Factor gravimétrico:** Obtenida las sales deshidratadas se procederá a determinar el factor gravimétrico utilizando la siguiente formula:

$$\text{Factor gravimétrico} = \frac{\text{Masa molar del metal}}{\text{Masa molar de la sal}} \quad (1)$$



- **Para el plomo:** Se calculará a partir del Nitrato de plomo ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ )

**Masa molar del plomo (Pb):** 207,2 g/mol

**Masa molar del nitrato de plomo:** 331,22 g/mol

$$\text{Factor gravimétrico} = \frac{207,2}{331,22} \cong 0,626$$

- **Para el cobre:** Se calculará a partir del Nitrato de Cobre (II) ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ )

**Masa molar del cobre (Cu):** 63,55 g/mol

**Masa molar del nitrato de cobre II:** 187,55 g/mol

$$\text{Factor gravimétrico} = \frac{63,55}{187,55} \cong 0,339$$

- **Para el hierro:** Se calculará a partir del Nitrato de Hierro ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ )

**Masa molar del hierro (Fe):** 55,85 g/mol

**Masa molar del nitrato de hierro:** 241,85 g/mol

$$\text{Factor gravimétrico} = \frac{55,85}{241,85} \cong 0,231$$

- b. **Cantidad de Sal:** Para calcular la cantidad de sal que se para obtener la concentración deseada en el estanque de 40 L de agua se utilizara la siguientes formulas:

$$\text{Cant. total del metal} = \text{Concentración deseada} \times \text{Vol. del estanque} \quad (2)$$

$$\text{Cantidad de sal} = \frac{\text{Cantidad total del metal}}{\text{Factor gravimétrico}} \quad (3)$$

- **Para el plomo:** Se calculará a partir de los siguientes datos:

**Concentración deseada:** 0,0025 mg/L

**Volumen del estanque:** 40 L

**Factor gravimétrico:** 0,626

$$\text{Cant. total de plomo} = 0,0025 \times 40 = 0,1 \text{ mg}$$

$$\text{Cantidad de la sal} = \frac{0,1}{0,626} \cong \mathbf{0,16 \text{ mg}}$$

- **Para el cobre:** Se calculará a partir de los siguientes datos:

**Concentración deseada:** 0,1 mg/L

**Volumen del estanque:** 40 L

**Factor gravimétrico:** 0,339

$$\text{Cant. total de cobre} = 0,1 \times 40 = 4 \text{ mg}$$

$$\text{Cantidad de la sal} = \frac{4}{0,339} \cong \mathbf{11,80 \text{ mg}}$$

- **Para el hierro:** Se calculará a partir de los siguientes datos:

**Concentración deseada:** 5 mg/L

**Volumen del estanque:** 40 L

**Factor gravimétrico:** 0,231

$$\text{Cant. total de hierro} = 5 \times 40 = 200 \text{ mg}$$

$$\text{Cantidad de la sal} = \frac{200}{0,231} \cong \mathbf{865,80 \text{ mg}}$$

- c. **Volumen de la solución concentrada:** Para determinar el volumen de la solución concentrada que se necesita añadir al estanque primero cada una de las sales las disolveremos en 1 litro de agua destilada y utilizaremos la siguiente formula de dilución:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \tag{4}$$

- **Para el plomo:** Se calculará a partir de los siguientes datos:

**Concentración deseada:** 0,0025 mg/L

**Volumen del estanque:** 40 L

**Concentración de la solución concentrada:** 0,16 mg/L

$$0,16 \times V_1 = 0,0025 \times 40 = \mathbf{0,625 \text{ L}}$$

- **Para el cobre:** Se calculará a partir de los siguientes datos:

**Concentración deseada:** 0,1 mg/L

**Volumen del estanque:** 40 L

**Concentración de la solución concentrada:** 11,80 mg/L

$$11,80 \times V_1 = 0,1 \times 40 = \mathbf{0,339\ L}$$

- **Para el hierro:** Se calculará a partir de los siguientes datos:

**Concentración deseada:** 5 mg/L

**Volumen del estanque:** 40 L

**Concentración de la solución concentrada:** 865,80 mg/L

$$865,80 \times V_1 = 5 \times 40 = \mathbf{0,231\ L}$$

Finalmente añadimos la solución concentrada de cada metal en el estanque de agua de 40 litros y mezclamos bien hasta que sea uniforme la distribución, luego introducimos las plantas de Elodea Canadensis en el estanque con mucho cuidado, asegurándonos que las raíces queden completamente sumergidas, además las distribuimos uniformemente teniendo en cuenta que cada planta tenga el espacio suficiente para que se pueda desarrollar. Además, se utilizó un pequeño equipo de pecera para que el estanque tuviera aireación y las plantas se puedan desarrollar correctamente.

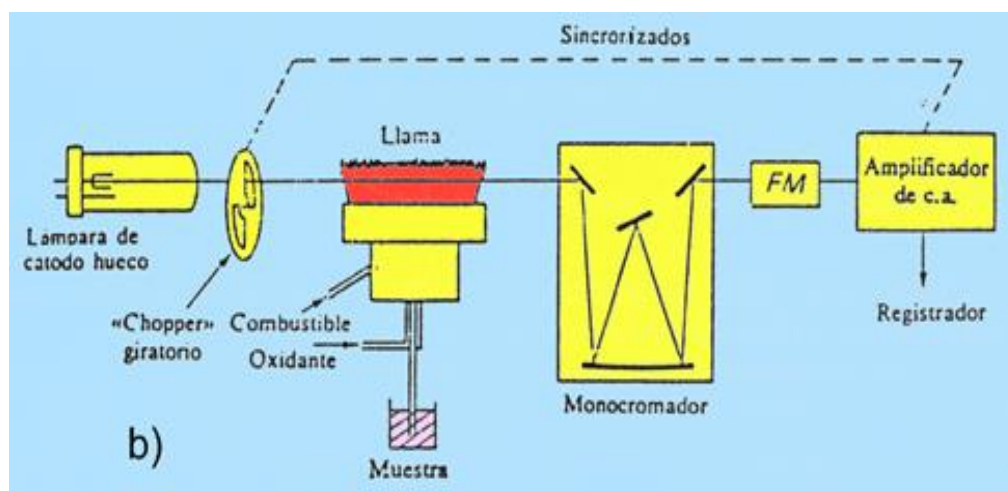
#### **4.1.5. Recolección de muestras**

Para la recolección de muestras se utilizaron frascos previamente esterilizados que se enjuagaron con el agua del estanque antes de tomar la muestra final, luego sumergimos el frasco en el agua para tomar la muestra evitando la entrada de aire y finalmente cerramos el frasco una vez que este se haya llenado. Las muestras que se tomaron fueron de 250 mL y cada vez que se recolectaba una muestra la cantidad que se extraía fue sustituida con 250 mL de solución nutriente para que el volumen se mantenga constante.

#### 4.1.6. Análisis de laboratorio

La muestra recolectada fue trasladada inmediatamente al laboratorio de la UNAS donde se realizó el análisis de Espectrofotometría de Absorción Atómica (AAS) para medir las concentraciones de los metales en las muestras. Para ello se prepararon soluciones estándar de cada uno de los metales con concentraciones conocidas, seguidamente se calibró el equipo de absorción atómica con las soluciones estándar. Luego se introdujeron las muestras de agua en el equipo que usa la curva de calibración para convertir las lecturas de absorbancia en concentraciones del metal que está analizando.

**Figura 5:** Esquema de espectrofotómetro de absorción atómica



*Nota.* Adaptado de "Métodos fundamentales de análisis instrumental"

#### 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Se recolectaron y se analizaron durante las 6 semanas que duró el experimento 7 muestras de solución metálica y los resultados obtenidos del análisis físico y el análisis químico de laboratorio se muestran en la tabla 7:

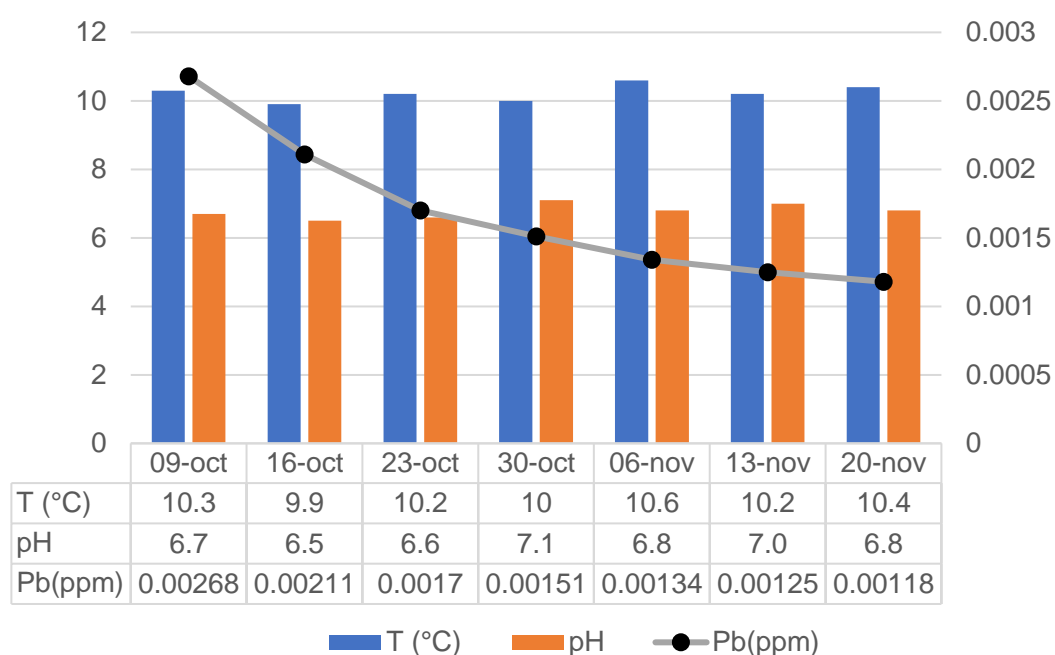
**Tabla 7 Resultados del Análisis físico - químico**

Fecha de recolección de Muestra	Temperatura (°C)	pH	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)
9/10/2019	10,3	6,7	0,00268	0,138	4,92
16/10/2019	9,9	6,5	0,00211	0,127	4,89
23/10/2019	10,2	6,6	0,00170	0,114	4,75
30/10/2019	10,0	7,1	0,00151	0,102	4,46
06/11/2019	10,6	6,8	0,00134	0,097	3,89
13/11/2019	10,2	7,0	0,00125	0,085	3,67
20/11/2019	10,4	6,8	0,00118	0,068	3,23

#### 4.2.1. Análisis de la influencia de la temperatura y el pH en las concentraciones de metales pesados

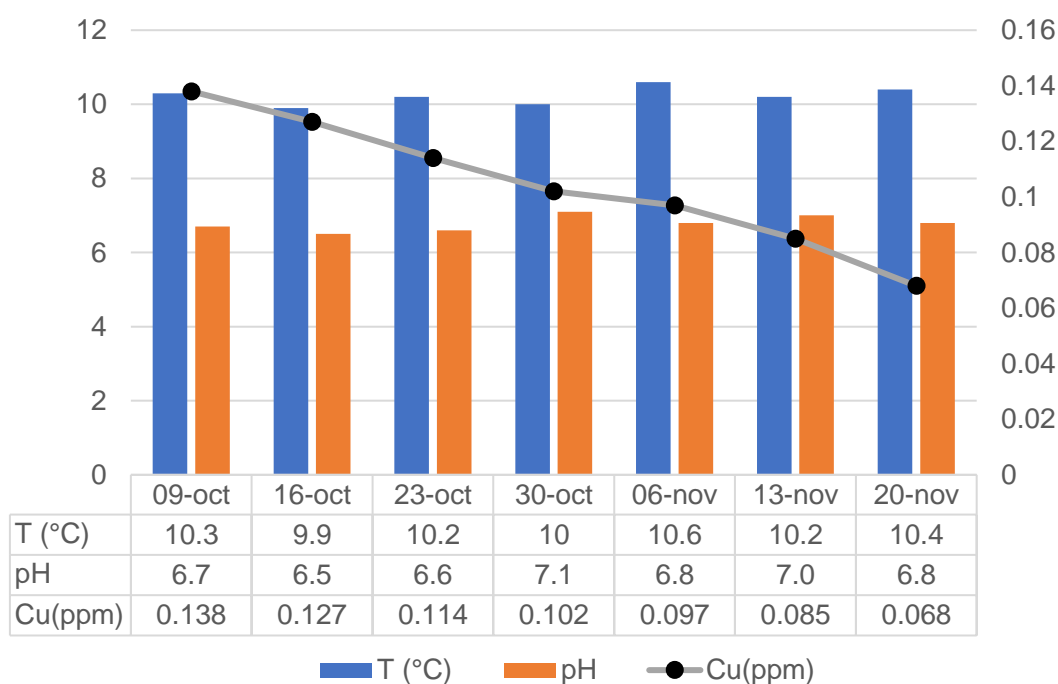
Basándome en los resultados obtenidos de temperatura y pH medidos con el multiparámetro y los resultados de las concentraciones de metales pesados del laboratorio, se realizó un análisis sobre cómo la temperatura y el pH influyen en las concentraciones de metales pesados, tal y como se muestran en las figuras 6, 7 y 8.

**Figura 6: Comparación de Niveles de Plomo, pH y Temperatura**



En la figura 6, se observa una reducción gradual en la concentración de plomo en el agua a lo largo del tiempo. Inicialmente, la concentración es de 0,00268 ppm, y esta disminuye continuamente hasta alcanzar un valor de 0,00118 ppm al final del período de observación. Además, se puede apreciar que la concentración de plomo tiene una mayor disminución en las primeras semanas, lo cual se relacionaría con el pH que en las primeras semanas es ligeramente ácido, haciendo que el plomo sea más soluble y, por lo tanto, más disponible en el agua para que la planta lo pueda absorber. En cuanto a la temperatura se puede notar que se mantiene bastante estable sin muchas variaciones con un promedio de 10,2 °C, lo cual es una temperatura en la que la planta puede desarrollarse. Sin embargo, a esta temperatura, los procesos metabólicos de la *Elodea Canadensis* ocurren de forma más lenta, ocasionando que la planta tarde más en realizar el proceso de absorción de metales pesados como el plomo.

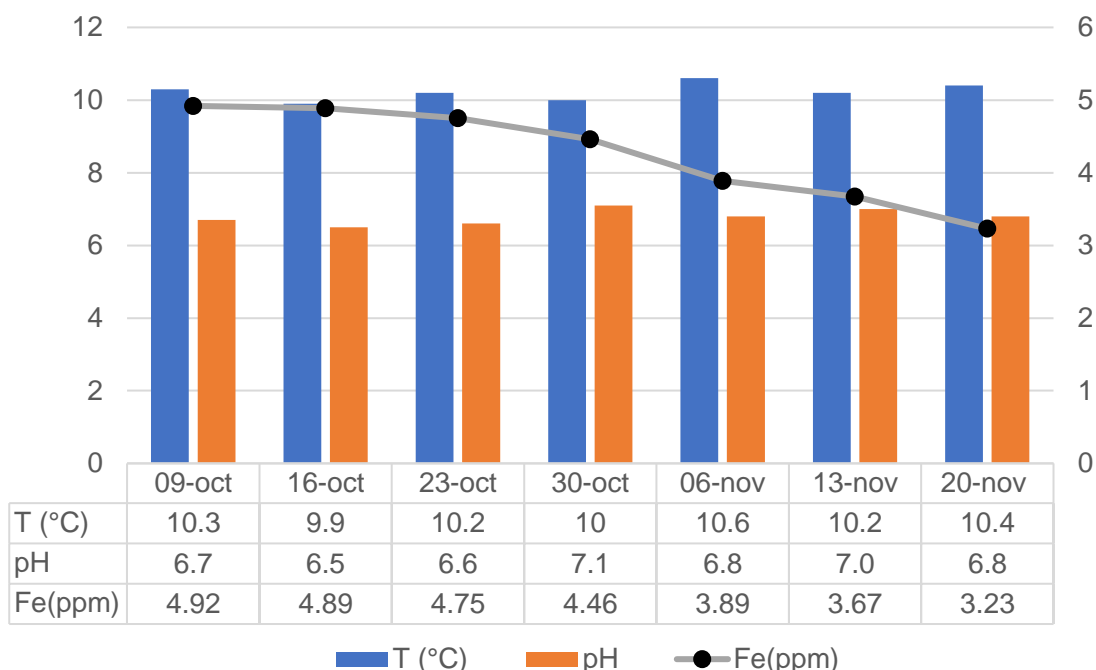
**Figura 7:** Comparación de Niveles de Cobre, pH y Temperatura



En la figura 7, se observa que inicialmente, la concentración de cobre se encontraba en 0,138 ppm y a medida que avanzó el estudio, la concentración

de este metal disminuyo gradualmente hasta alcanzar un valor de 0,068 ppm al finalizar el experimento. También durante las primeras semanas, se puede observar que la disminución en la concentración de cobre es más significativa, lo que podría relacionarse con el pH que en las primeras semanas es ligeramente ácido lo que favorecería a la disolución del cobre, permitiendo que la *Elodea Canadensis*, absorba con mayor eficacia el metal. En cuanto a la temperatura, se observa que se mantiene relativamente estable, con un promedio de 10,2 °C y aunque esta temperatura se encuentra en el rango adecuado para que la *Elodea Canadensis* pueda crecer, es importante destacar que a esta temperatura los procesos metabólicos de la planta se desarrollan de manera más lenta, limitando la rapidez con la que la planta asimila y absorbe el cobre.

**Figura 8:** Comparación de Niveles de Hierro, pH y Temperatura



En la figura 8, se observa que la concentración de hierro tiene una disminución progresiva, partiendo de 4.92 ppm hasta llegar a 3.23 ppm al finalizar el experimento. Además, se observa que en las primeras semanas la disminución de la concentración de hierro es baja, esto podría estar relacionado

con el pH; ya que el hierro para presentar una mejor disponibilidad necesita un pH ácido alto y a lo largo del experimento el pH se mantuvo en un rango ligeramente ácido entre 6,5 a 7,1; lo cual reduciría la disponibilidad del hierro en el agua para la absorción por la Elodea Canadensis. En las semanas finales se observa un ligero aumento en la disminución de la concentración de hierro y esto se debería al aumento de temperatura que ayudaría a que la actividad metabólica de la Elodea Canadensis sea un poco más alta en comparación con las semanas iniciales del experimento.

#### 4.2.2. Eficiencia de absorción de la Elodea Canadensis

Determinamos la eficiencia de absorción que tuvo la Elodea Canadensis para absorber los metales pesados aplicando la siguiente formula:

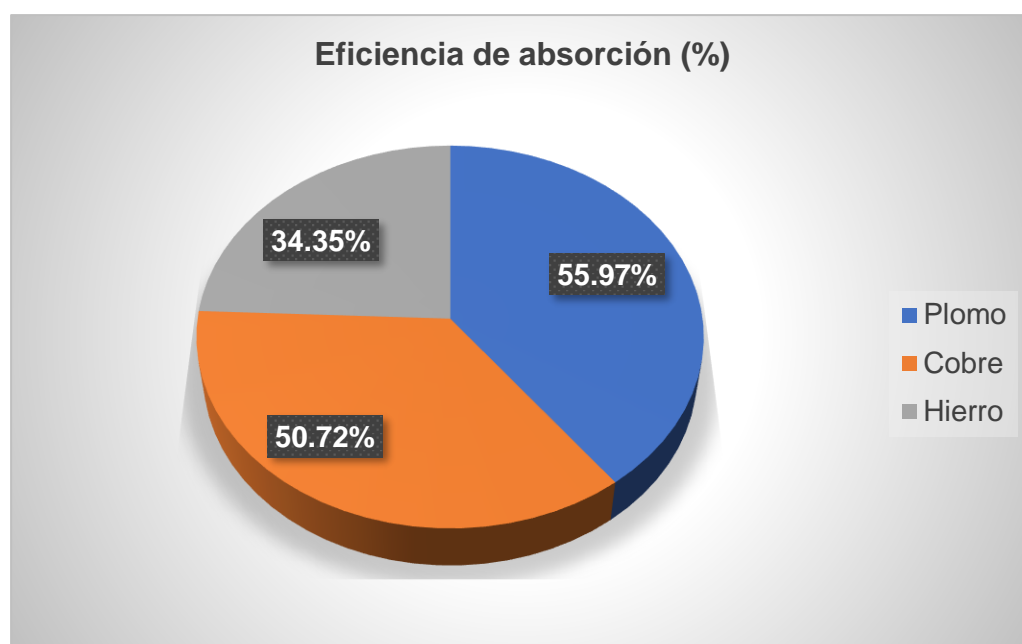
$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} \times 100$$

**Tabla 8** Resultados del porcentaje de absorción de la Elodea Canadensis

Metales pesados	Unidad	Concentración Inicial	Concentración final	Eficiencia (%)
Plomo	ppm	0,00268	0,00118	55,97
Cobre	ppm	0,138	0,068	50,72
Hierro	ppm	4.92	3.23	34,35



**Figura 9:** Porcentaje de absorción de metales de la *Elodea Canadensis*



En la figura 9, que muestra los resultados de la capacidad de absorción de metales por la *Elodea Canadensis*, podemos notar que esta planta demostró ser altamente efectiva en la absorción de plomo, con una eficiencia del 55,97%. Esto sugiere que la *Elodea Canadensis* podría ser una opción ideal para la fitorremediación en áreas contaminadas con plomo. Además, también se observó que la planta fue capaz de absorber el cobre con una eficiencia del 50,72%, lo cual es otro dato significativo a tener en cuenta. Por último, aunque en menor medida, la *Elodea Canadensis* también logró absorber hierro, con una eficiencia del 34,35%.

#### **4.3. Prueba de hipótesis**

La hipótesis plantea en la presente investigación fue la siguiente:

**HG:** La planta acuática *Elodea Canadensis* tiene una gran capacidad de absorción metálica en condiciones ambientales de Tomayquichua-Ambo, Huánuco.

De acuerdo a los resultados obtenidos de esta investigación se concluye que la hipótesis planteada es válida, dado que la *Elodea Canadensis* demostró

ser capaz de absorber el plomo y cobre con una eficiencia mayor al 50%, evidenciando su capacidad para eliminar estos metales del agua; y aunque la eficiencia de absorción de hierro fue un poco menor con un valor de 34,35%, aun demuestra que la planta tiene la capacidad de reducir la concentración de este metal en el agua. Por lo tanto, se puede concluir que la Elodea Canadensis tiene una capacidad significativa para absorber los metales pesados en condiciones ambientales en Tomayquichua.

**HE1:** La planta Elodea Canadensis posee mayor capacidad de absorción sobre uno de los metales de los investigados.

Se confirma la validez de la hipótesis a partir de los siguientes resultados obtenidos en la investigación:

- **Plomo:** Durante el periodo en el que se llevó a cabo la investigación la Elodea Canadensis demostró tener una eficiencia del 55.97% haciendo que la concentración de este metal en el agua se reduzca de 0,00268 ppm hasta llegar a 0,00118 ppm.
- **Cobre:** Al finalizar la investigación la Elodea Canadensis logro reducir la concentración de cobre en el agua de 0,138 ppm hasta 0,068 ppm, logrando así una eficiencia del 50,72%.
- **Hierro:** La eficiencia que tuvo la Elodea Canadensis para absorber este metal es del 34,35%; consiguiendo que la concentración en el agua disminuya de 4.92 ppm hasta llegar a 3.23 ppm.

Tal y como lo muestran los datos la Elodea Canadensis demuestra tener una mayor capacidad de absorción para el plomo en las condiciones de un pH promedio de 6,8 y una temperatura promedio de 10,2, alcanzando así una eficiencia más alta en comparación con los otros metales pesados estudiados.

**HE2:** La planta Elodea Canadensis posee menor capacidad de absorción sobre uno de los metales de los investigados.

La hipótesis se valida al observar que, bajo las condiciones de la investigación, con un pH promedio de 6.8 y una temperatura media de 10.2°C, la *Elodea Canadensis* presentó una capacidad de absorción de hierro notablemente baja, con una eficiencia del 34,35% a comparación del plomo y cobre que alcanzaron una eficiencia mayor al 50%. Estos resultados indican que la planta tiene una menor capacidad de absorción de hierro en comparación con los otros metales estudiados.

**HE3:** La planta *Elodea Canadensis* se recomienda en la fitorremediación de los contenidos metálicos en los recursos hídricos.

Esta hipótesis es válida al demostrar que la *Elodea Canadensis* tras 6 semanas presento una buena eficiencia de más del 50 % en la absorción de metales pesados como el cobre y el plomo y aunque para el hierro la eficiencia que mostro fue menor con un 34,35%, esta planta acuática prueba tener una capacidad relevante para reducir la concentración de este metal en el agua. Por lo tanto, los resultados de la investigación muestran que la macrófita *Elodea Canadensis* es una opción viable y recomendable para la fitorremediación de metales pesados en cuerpos de agua. Esta planta acuática al ser efectiva para absorber y reducir la concentración de plomo, cobre y hierro, prueba que puede ser utilizada para la restauración de recursos hídricos contaminados por la presencia de metales pesados.

#### **4.4. Discusión de resultados**

El propósito de la investigación llevada a cabo tiene como objetivo principal determinar experimentalmente la capacidad de absorción metálica de la *Elodea Canadensis* a las condiciones ambientales de Tomayquichua. Después de recopilar y analizar los datos obtenidos, se demostró que la *Elodea Canadensis* a las condiciones ambientales de Tomayquichua presenta una alta capacidad para absorber metales pesados presentes en el agua. Y aunque su eficacia varía entre los diferentes metales analizados, la planta acuática mostro

una eficiencia de absorción del plomo y cobre superior al 50% y una eficiencia del 34.35% para el hierro. Estos resultados también mostraron que la planta bajo las condiciones en las que se desarrolló el experimento y entre los metales pesados estudiados tiene una mayor capacidad para absorber plomo y una menor capacidad para absorber hierro, los porcentajes de absorción indican que la planta es efectiva en la eliminación de metales pesados en el agua, lo que la convierte en una opción viable para la fitorremediación de los contenidos metálicos en los recursos hídricos. Estos hallazgos coinciden con Picco et al (2019) y Jaramillo et al (2015) quienes también concluyen en sus investigaciones que la *Elodea Canadensis* es una planta acuática que muestra una gran eficiencia para absorber metales pesados disueltos en el agua y su capacidad de absorción varía dependiendo al tipo de metal, mostrando diferentes eficiencias para cada uno. Por otro lado, los hallazgos son consistentes también con las investigaciones de Sandoval (2019) y Díaz (2012), quienes indican que las macrofitas tienen distintas capacidades para absorber los metales pesados y pueden ser utilizadas de manera excelente en la fitorremediación de cuerpos de agua. Teóricamente según Krems et al (2013) la *Elodea Canadensis* junto con la *Myriophyllum Aquaticum* son plantas con una alta tolerancia relativa al contenido de metales pesados en su entorno ya que poseen la capacidad de adsorber cationes directamente del agua, por lo que estas especies pueden ser utilizadas de manera efectiva para la fitorremediación de aguas superficiales afectados por la contaminación con metales pesados. Por lo tanto, los resultados de esta investigación reafirman que la *Elodea Canadensis* posee una alta tolerancia y capacidad para absorber metales pesados en su entorno bajo condiciones ambientales como las de Tomayquichua, además su capacidad para adaptarse a diversas condiciones la convierten en una opción viable y efectiva para la fitorremediación de recursos hídricos que vienen siendo afectados por la contaminación de metales pesados.

## CONCLUSIONES

Al término de la presente investigación se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Bajo condiciones ambientales de Tomayquichua la planta *Elodea Canadensis* ha demostrado tener una buena capacidad para absorber metales pesados, destacándose particularmente en la absorción de plomo cuya eficiencia ha logrado superar el 50%. Además, la ventaja que tiene esta planta para poder adaptarse a distintas condiciones ambientales la convierte en una herramienta viable y de bajo costo para la fitorremediación de cuerpos de agua de bajo costo.
- La *Elodea Canadensis* demostró que también bajo las condiciones ambientales de Tomayquichua puede llegar a reducir las concentraciones de hierro en el agua, aunque con una eficiencia de absorción significativamente menor en comparación con el plomo y el cobre. La eficiencia de absorción para el hierro alcanzó un 34.35%, lo que, si bien no es tan alto como para otros metales pesados, sigue siendo un resultado prometedor.
- Asimismo, los resultados mostraron que mantener la temperatura en un rango de 9.9 a 10.6 °C y un pH entre 6.5 y 7.1 no afecta negativamente la capacidad de absorción de la planta. De hecho, los datos sugieren que el pH dentro de este rango es óptimo para la absorción de plomo, logrando una reducción de su concentración de hasta un 55.97%. Además, los resultados también revelaron que una combinación adecuada de temperatura y pH no solo beneficia la salud de la planta, sino que también mejora y potencia su capacidad para eliminar contaminantes del agua, resaltando así la importancia que tiene las condiciones ambientales en la eficacia de *Elodea Canadensis* como agente fitorremediador.
- Por otro lado, la investigación también indica que el tiempo de contacto entre *Elodea Canadensis* y la solución metálica es un factor importante a considerar, ya que influye significativamente en la cantidad de metales pesados absorbido, pues

a medida que se incrementa el tiempo de contacto, se observó un aumento en la capacidad de absorción de la planta, lo cual resulta en una reducción significativa en la concentración de metales pesados en el agua.

- La capacidad que muestra la *Elodea Canadensis* para absorber metales pesados, aunque con distintos porcentajes de eficiencia de absorción resaltan su potencial como una solución ecológica y sostenible para la remediación de aguas contaminadas. Esta planta se presenta como una alternativa viable, especialmente en regiones impactadas por actividades antropogénicas. Su eficacia en la eliminación de contaminantes metálicos no solo contribuye a la restauración de ecosistemas acuáticos, sino que también promueve prácticas de gestión ambiental responsables. Al utilizar *Elodea Canadensis*, se pueden abordar problemas de contaminación de manera natural, reduciendo la dependencia de métodos químicos.

## RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio más amplio donde se pueda incluir más variedades de metales pesados lo que permitirá hacer una mejor evaluación de la capacidad de absorción de *Elodea Canadensis* frente a diferentes tipos de contaminantes, y así obteniendo una comprensión más integral de su eficacia en diversos escenarios de contaminación.
- Ampliar el tiempo de estudio para observar y comprender mejor el comportamiento de la *Elodea Canadensis* en relación con la absorción de metales y su capacidad para mantener la eficiencia de remediación a lo largo del tiempo, para así optimizar el potencial de *Elodea Canadensis* en la fitorremediación.
- Analizar la interacción que tiene la *Elodea Canadensis* con otras especies vegetales como la *Lemna Minor* y microorganismos en el ecosistema acuático para evaluar posibles sinergias en la fitorremediación, que permitirán desarrollar estrategias más efectivas para la recuperación de cuerpos de agua.
- Realizar un análisis de la acumulación de metales pesados en la *Elodea Canadensis* y en los organismos que dependen de ella, para asegurar que la fitorremediación no genere efectos negativos en el ecosistema a largo plazo.
- Investigar los posibles impactos ecológicos que implicaría el introducir una planta como la *Elodea Canadensis* en nuevos entornos ya que debido a su rápida proliferación podría afectar la biodiversidad local y las dinámicas de los ecosistemas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguayo Girón, C. (2015). *Determinación de la acumulación de los metales pesados plomo, cadmio y cromo en la planta Pistia Stratiotes conocida como lechuga de agua* [Tesis de pregrado, Universidad ICESI]. [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/handle/10906/78790](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/handle/10906/78790)
- Alfaro, D., Blanco, M., Germey, C., Orozco, J. y Gutiérrez, C. (2019). Biorremediación de aguas residuales mediante Eicchornia Crassipes y Lemma Minor. *Microciencia: Investigación, Desarrollo e Innovación*, 8, 56-63. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/microciencia/article/view/7400/>
- Bedoya Justo, E.V. (2019). *Evaluación de dos especies vegetales en la fitorremediación de metales pesados en el río Moquegua, 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Alas Peruanas]. <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/8969>
- Bernal Figueroa, A. A. (2014). Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(2), 245-258. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1340>
- Bonilla, L., Bermeo, M., Bonilla, S. y Viteri, I. (2017). *Tratamiento de aguas residuales de textilería utilizando carbón activado*. Grupo Compás. [http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/79/1/LIBRO%20agua\\_residual%20corregido.pdf](http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/79/1/LIBRO%20agua_residual%20corregido.pdf)
- Carranza, C., Figueroa, L., Hernández, A., Hernández, D. y Medellín, N. (2014). Determinación de la capacidad de adsorción de Pb(II) en solución acuosa por raíces de Typha latifolia (Espadaña). *Ciencias Naturales y Exactas Handbook T-II: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos*, 241-248. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4861819>



Decreto Supremo N° 004-2017 [Ministerio del Ambiente – MINAM]. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. 07 de junio de 2017.

Delgadillo, A., Gonzáles, C., Prieto, F., Villagómez, J. y Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-04622011000200002](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002)

Díaz, H., Castillo, F., Cotos, D. y Benites, E. (2012). Influencia de *Typha angustifolia* y *Eichornia crassipes* en la adsorción del cadmio total presente en agua en condiciones de laboratorio. *Revista de Ciencia y Tecnología Infinitum*, 2(1), 6-10. <https://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/INFINITUM/article/view/321>

Dirección Regional de Salud de Huánuco. (2014). Análisis de la situación de salud del Distrito de Tomaykichwa. <https://es.scribd.com/document/406093766/asis-Tomayquichua-2014-pdf>

Doménech, X. y Peral, J. (2006). *Química ambiental de sistemas terrestres*. Editorial Reverté.  
[https://books.google.com.pe/books?id=S4bjFOEXRzMC&q=adsorci%C3%B3n&hl=es&source=gbs\\_word\\_cloud\\_r&cad=4#v=snippet&q=adsorci%C3%B3n&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=S4bjFOEXRzMC&q=adsorci%C3%B3n&hl=es&source=gbs_word_cloud_r&cad=4#v=snippet&q=adsorci%C3%B3n&f=false)

Espinoza Laus, V. (2014). *Eficiencia de bioacumulación de plomo por *Spyrogira sp.* a escala de laboratorio en la Universidad Nacional Agraria de la Selva* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].  
<https://hdl.handle.net/20.500.14292/351>

Froh, F. (2005). *Elodea canadensis*. *Calscape*.  
<https://legacy.calscape.org/view.php?pl=1377&img=13591>

- Garfias Patricio, C. A. (2018). *Fitorremediación con agua de lavado con el trébol de agua* [Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://vinculacion.dgire.unam.mx/vinculacion-1/Memoria-Congreso-2018/trabajos/ciencias-biologicas-quimicas-y-de-la-salud/medio-ambiente-biologia/doc18.pdf>
- Jaramillo, M., Zapata, L. y Marulanda, T. (2015). Fitorremediación de mercurio a partir de elodea sp. *Ingenierías USBMed*, 6(2), 42–45. <https://doi.org/10.21500/20275846.1730>
- Klein, H. (2011). *Canadian waterweed Elodea canadensis Michx.* [https://accs.uaa.alaska.edu/wp-content/uploads/Elodea\\_canadensis\\_BIO\\_ELCA7.pdf](https://accs.uaa.alaska.edu/wp-content/uploads/Elodea_canadensis_BIO_ELCA7.pdf)
- Krems, P., Rajfur, M., Waclawek, M. y Klos, A. (2013). The use of water plants in biomonitoring and phytoremediation of waters polluted with heavy metals. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 20(2), 353-370. <https://doi.org/10.2478/eces-2013-0026>
- Lewis, R. A. (2016). Sorción. *Hawley's condensed chemical dictionary*. John Wiley & Sons. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119312468>
- Montenegro, K. Fernández, L., Villamar, C. y Espinoza, P. (2019). Humedales artificiales y celdas de combustibles microbianas como sistemas individuales y combinados para el tratamiento de aguas residuales: una revisión. *InfoANALITICA*, 7(2), 15-37. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7113298>
- Naciones Unidas (2018). Water quality and wastewater. [https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2018/10/WaterFacts\\_water\\_and\\_wastewater\\_sep2018.pdf](https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2018/10/WaterFacts_water_and_wastewater_sep2018.pdf)

Naciones Unidas (2019). *Informe de los objetivos de desarrollo sostenible 2019*.

[https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-](https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf?_gl=1*z82rl*_ga*NTI5OTI4OTMuMTY5MjY1MzY4Nw..*_ga_TK9BQL5X7Z*MTcxNTA4ODQ5NC40LjAuMTcxNTA4ODQ5NS4wLjAuMA..#page=11)

[2019\\_Spanish.pdf?\\_gl=1\\*z82rl\\*\\_ga\\*NTI5OTI4OTMuMTY5MjY1MzY4Nw..\\*\\_ga\\_TK9BQL5X7Z\\*MTcxNTA4ODQ5NC40LjAuMTcxNTA4ODQ5NS4wLjAuMA..#page=11](https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf?_gl=1*z82rl*_ga*NTI5OTI4OTMuMTY5MjY1MzY4Nw..*_ga_TK9BQL5X7Z*MTcxNTA4ODQ5NC40LjAuMTcxNTA4ODQ5NS4wLjAuMA..#page=11)

Núñez, R., Meas, V., Ortega, R. y Olguín, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia - Academia Mexicana de Ciencias*, 55(3), 69-83.  
[https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55\\_3/Fitorremediacion.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf)

Picco, P., Hasuoka, P., Verni, E., Savio, M. y Pacheco, P. (2019). Absorción y translocación de especies de arsénico en *Elodea canadensis*. *International Journal of Phytoremediation*, 21(7), 693-698.  
<https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1556588>

Pilon Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 15-29.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214>

Sandoval Vilchez, J. D. (2019). *Eficiencia del jacinto de agua Eichhornia Crassipes y lenteja de agua Lemna Minor L. en la remoción de cadmio en aguas residuales* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal].  
<https://hdl.handle.net/20.500.13084/3256>

Sanz Elorza, M., Dana Sánchez, E.D. y Sobrino Vesperinas, E. (Eds.). (2004). Atlas de las plantas alóctonas invasoras en España. Dirección General para la Biodiversidad. Madrid, 384 pp.  
<https://www.gisandbeers.com/GeoBazar/Libros/Atlas%20biodiversidad/Atlas%20de%20las%20Plantas%20Aloctonas%20Invasoras%20de%20Espana.pdf>

Thangavel, P y Subbhuraam, C. (2004). Phytoextraction: Role of hyperaccumulators in metal contaminated soils. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 70(1), 109-130.  
[https://www.researchgate.net/publication/284396760\\_Phytoextraction\\_Role\\_of\\_Hyperaccumulators\\_in\\_Metal\\_Contaminated\\_Soils](https://www.researchgate.net/publication/284396760_Phytoextraction_Role_of_Hyperaccumulators_in_Metal_Contaminated_Soils)

## **ANEXOS**

## **ANEXO N° 01**

### **INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**



# ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE	SAUD ABEL ONOFRE ESPINOZA	MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE
PROCEDENCIA	SECTOR RETAMAYO - TOMAYQUICHUA - HUANUCO	TIPO DE MUESTRA	AGUA
FECHA DE MUESTREO	9/10/2019	FECHA DE REPORTE DE RESULTADO	20/01/2020

## RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS		
Código	Referencia	Pb (mg/L)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)
E19-024	M001	0.00268	4.92	0.138

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María



Dr. HUGO ALFREDO HUAMANÍ YUPANQUI  
Jefe Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



# ANÁLISIS ESPECIAL



SOLICITANTE	SAUD ABEL ONOFRE ESPINOZA	MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE
PROCEDENCIA	SECTOR RETAMAYO - TOMAYQUICHUA - HUANUCO	TIPO DE MUESTRA	AGUA
FECHA DE MUESTREO	16/10/2019	FECHA DE REPORTE DE RESULTADO	20/01/2020

## RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS		
Código	Referencia	Pb (mg/L)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)
E19-031	M002	0.00211	4.89	0.127

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María



Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI  
Jefe Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología





# ANÁLISIS ESPECIAL



SOLICITANTE	SAUD ABEL ONOFRE ESPINOZA	MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE
PROCEDENCIA	SECTOR RETAMAYO - TOMAYQUICHUA - HUANUCO	TIPO DE MUESTRA	AGUA
FECHA DE MUESTREO	23/10/2019	FECHA DE REPORTE DE RESULTADO	20/01/2020

## RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS		
Código	Referencia	Pb (mg/L)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)
E19-038	M003	0.00170	4.75	0.114

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María



Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI  
Jefe Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



# ANÁLISIS ESPECIAL



SOLICITANTE	SAUD ABEL ONOFRE ESPINOZA	MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE
PROCEDENCIA	SECTOR RETAMAYO - TOMAYQUICHUA - HUANUCO	TIPO DE MUESTRA	AGUA
FECHA DE MUESTREO	30/10/2019	FECHA DE REPORTE DE RESULTADO	20/01/2020

## RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS		
Código	Referencia	Pb (mg/L)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)
E19-043	M004	0.00151	4.46	0.102

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María



Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI  
Jefe Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



# ANÁLISIS ESPECIAL



SOLICITANTE	SAUD ABEL ONOFRE ESPINOZA	MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE
PROCEDENCIA	SECTOR RETAMAYO - TOMAYQUICHUA - HUANUCO	TIPO DE MUESTRA	AGUA
FECHA DE MUESTREO	6/11/2019	FECHA DE REPORTE DE RESULTADO	20/01/2020

## RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS		
Código	Referencia	Pb (mg/L)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)
E19-055	M005	0.00134	3.89	0.097

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María



Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI  
Jefe Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



# ANÁLISIS ESPECIAL



SOLICITANTE	SAUD ABEL ONOFRE ESPINOZA	MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE
PROCEDENCIA	SECTOR RETAMAYO - TOMAYQUICHUA - HUANUCO	TIPO DE MUESTRA	AGUA
FECHA DE MUESTREO	13/11/2019	FECHA DE REPORTE DE RESULTADO	20/01/2020

## RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS		
Código	Referencia	Pb (mg/L)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)
E19-068	M006	0.00125	3.67	0.085

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María

DR. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI  
Jefe Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología





# ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE	SAUD ABEL ONOFRE ESPINOZA	MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE
PROCEDENCIA	SECTOR RETAMAYO - TOMAYQUICHUA - HUANUCO	TIPO DE MUESTRA	AGUA
FECHA DE MUESTREO	20/11/2019	FECHA DE REPORTE DE RESULTADO	20/01/2020

## RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS		
Código	Referencia	Pb (mg/L)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)
E19-115	M007	0.00118	3.23	0.068

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María



Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI  
Jefe Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



## **ANEXO N° 02**

### **MATRIZ DE CONSISTENCIA**



PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<b>Problema General</b> ¿Cuál es la capacidad de absorción metálica que posee la Elodea Canadensis a las condiciones ambientales de Tomayquichua- Huánuco?	<b>Objetivo General</b> Determinar experimentalmente la capacidad de absorción metálica de la Elodea Canadensis a las condiciones ambientales de Tomayquichua.	<b>Hipótesis General</b> La planta acuática Elodea Canadensis tiene una gran capacidad de absorción metálica en condiciones ambientales de Tomayquichua - Ambo, Huánuco.		<b>Tipo de Investigación</b> La investigación realizada es de tipo aplicada
<b>Problemas Específicos</b> a. ¿La planta Elodea Canadensis tendrá mayor capacidad de absorción sobre uno de los metales en investigación de laboratorio? b. ¿La planta Elodea Canadensis tendrá menor capacidad de absorción sobre uno de los metales en investigación de laboratorio? c. ¿La planta Elodea canadensis de acuerdo a la capacidad de absorción metálica, se podrá recomendar preferentemente en la fitorremediación del contenido metálico de mayor absorción en los recursos hídricos?	<b>Objetivos Específicos</b> a. Determinar si la planta Elodea Canadensis tendrá mayor capacidad de absorción sobre uno de los metales de los investigados. b. Determinar si la planta Elodea Canadensis tendrá menor capacidad de absorción sobre uno de los metales de los investigados. c. Determinar si la planta Elodea Canadensis se recomienda en la fitorremediación de los contenidos metálicos en los recursos hídricos a las condiciones del trabajo experimental realizado en el Distrito de Tomayquichua provincia de Ambo región Huánuco.	<b>Hipótesis Específicas</b> a. La planta Elodea Canadensis posee mayor capacidad de absorción sobre uno de los metales de los investigados. b. La planta Elodea Canadensis posee menor capacidad de absorción sobre uno de los metales de los investigados. c. La planta Elodea Canadensis se recomienda en la fitorremediación de los contenidos metálicos en los recursos hídricos.	<b>Variable Dependiente</b> Capacidad de absorción, mg metal/L.  <b>Variable Independiente</b> Tiempo de contacto raíces – metálicos	<b>Nivel de Investigación</b> El nivel de investigación es exploratorio, descriptivo y explicativo  <b>Diseño de Investigación</b> El diseño de la investigación es experimental  <b>Métodos de Investigación</b> El método empleado es el lógico – deductivo

## **ANEXO N° 03:**

### **IMÁGENES DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA**



**FOTOGRAFIA N°01:** Recolección de muestras de la planta *Elodea Canadensis* en una acequia en Tomayquichua



**FOTOGRAFIA N°02:** Vista frontal del lugar donde se desarrolla la investigación. ubicada en el distrito de Tomayquichua





**FOTOGRAFIA N°03:** Muestras recolectados de la planta *Elodea Canadensis* más conocida como Peste de agua



**FOTOGRAFIA N° 04:** Preparación de las muestras recolectadas de la *Elodea Canadensis*



**FOTOGRAFIA N° 05:** Lavado de las muestras de la planta de *Elodea Canadensis* para eliminar cualquier residuo o contaminante superficial



**FOTOGRAFIA N° 06:** Disposición de las muestras en la cubeta que contiene la solución nutritiva preparada teniendo en cuenta que las raíces estén bien sumergidas





**FOTOGRAFIA N° 07:** Presentación de una de las muestras de la Elodea Canadensis antes de ser introducida al recipiente que contiene la solución metálica



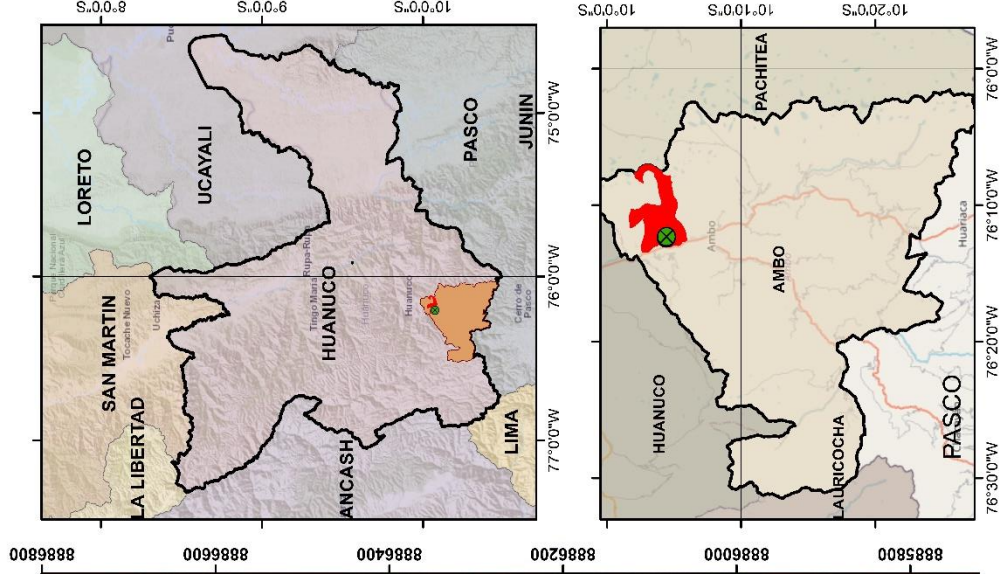
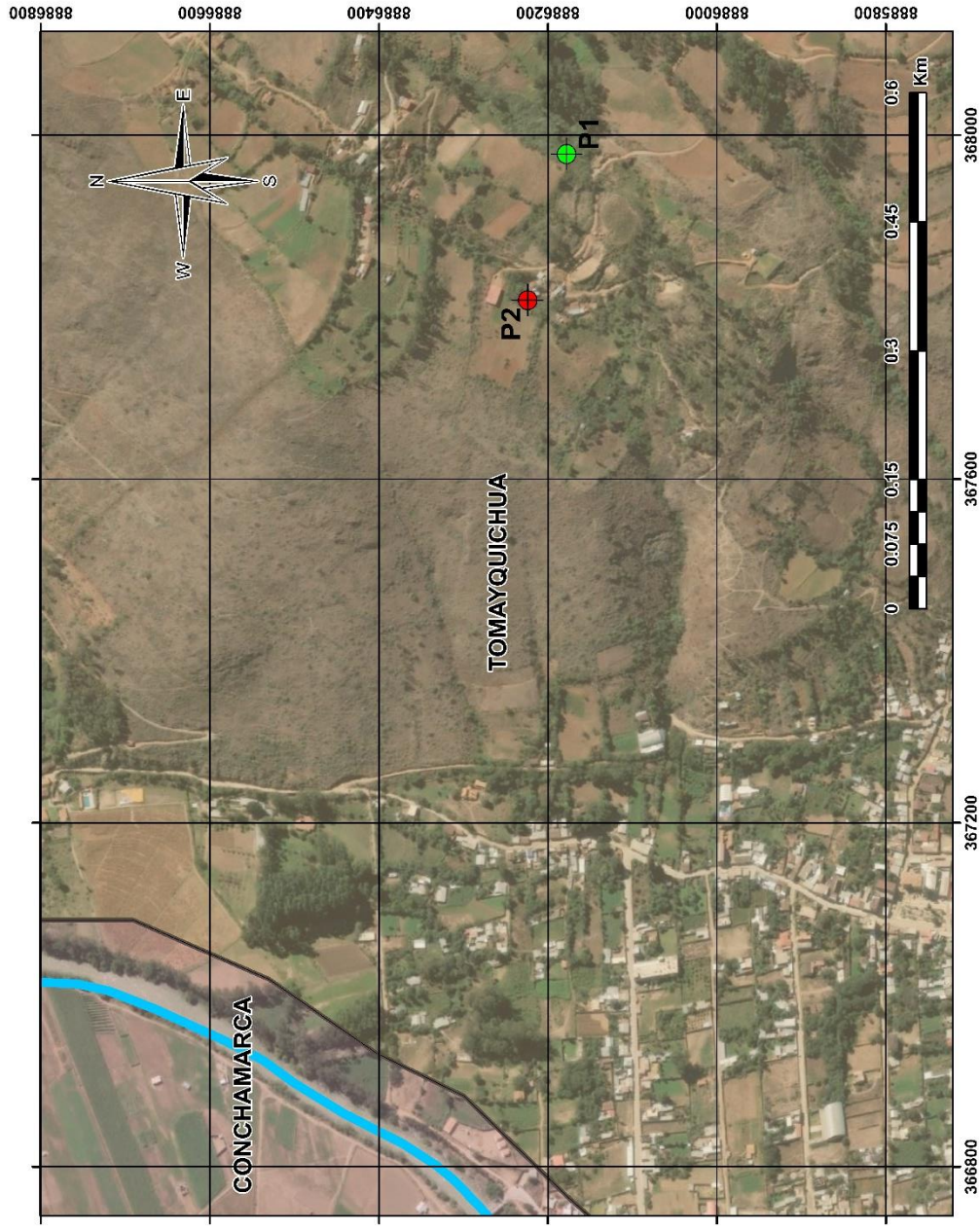
**FOTOGRAFIA N° 08:** Recipiente con las muestras de Elodea Canadensis y la solución metálica



## **ANEXO N° 05**

**MAPA DE UBICACIÓN DE TOMA DE MUESTRAS Y  
DESARROLLO DEL PROYECTO**





	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN		
	PLANO DE UBICACIÓN DE TOMA DE MUESTRAS Y DESARROLLO DEL PROYECTO		
	PROYECTO: Evaluación de la capacidad de Absorción de metales pesados de la planta Elodea Canadensis o Peste de agua mediante pruebas de Laboratorio en Relamayoc – Tomayquichua, Ambo (Huánuco) – 2019		
ELABORADO POR: Bach. Saud Abel ONOFRE ESPINOZA	UBICACIÓN: Distrito de Tomayquichua		LAMINA:
	ESCALA: 1:5,000		01
SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 1984 UTM Zone 18S			

<b>LEYENDA</b>	
	P1: PUNTO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS
	P2: LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO
	RIO HUALLAGA
	LIMITE DISTRITAL