



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Determinación del pH y tiempo de residencia de la *Pistia stratiotes* para la mayor absorción de cadmio en aguas superficiales”

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

AUTOR:

Leonardo Martín, Aurazo Mendoza (ORCID: 0000-0003-3362-2300)

ASESOR:

Dr. César Augusto, Monteza Arbulú (ORCID: 0000-0003-2052-6707)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

CHICLAYO – PERÚ

2020

Dedicatoria

Este proyecto de investigación va dedicado primeramente a Dios por haber llegado a esta etapa final de mi carrera, venciendo todo tipo de obstáculos y así lograr la culminación de mi carrera universitaria, a mis padres Henry y Pilar un agradecimiento infinito por siempre estar conmigo, a mis hermanos Enrique y Elvira por estar motivándome a superarme día a día.

A mi abuelita María que diariamente desde el cielo me guía y a mi sobrino Stephano por ser el motivo de superarme y a la vez brindarle un ejemplo de esfuerzo y sacrificio.

Leonardo Martin.

Agradecimiento

Siempre agradecido con Dios por haberme permitido culminar mis estudios, por darme salud, sabiduría y fuerza de siempre levantarme y seguir adelante, por haber cumplido mi sueño realidad y a la vez el de mis padres, los cuales son mi motor y motivo de seguir esforzándome todos los días y agradecer de corazón a todos los familiares, compañeros, amigos y profesores que siempre me impulsaron y brindaron sus conocimientos y amistad verdadera.

Agradecer al Ing. Oswaldo Effio Seclén el cual me brindó una oportunidad de practicante en su empresa y asimismo me ayudó a través de pautas y consejos para ser un buen profesional.

Un agradecimiento especial a mis asesores, el Ing. César Monteza Arbulú y la Ing. Bertha Gallo Gallo por el seguimiento, conocimiento y apoyo que me brindaron para poder elaborar mi proyecto de tesis.

Leonardo Martin.

Página del jurado

Declaratoria de autenticidad



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL AUTOR

Yo, Leonardo Martin Aurazo Mendoza, alumno de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo (filial Chiclayo), declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a la Tesis titulada "Determinación del pH y tiempo de residencia de la Pistia stratiotes para la mayor absorción de cadmio en aguas superficiales", son:

1. De mi autoría.
2. La presente Tesis no ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
3. La Tesis no ha sido publicado ni presentado anteriormente.
4. Los resultados presentados en la presente Tesis son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

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

Chiclayo, 25 de agosto de 2020

.....
Aurazo Mendoza Leonardo Martin

DNI: 71533026

Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Página del jurado	iv
Declaratoria de autenticidad	v
Índice	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MÉTODO	16
2.1. Diseño de investigación.....	16
2.2. Población, muestra y muestreo.....	16
2.3. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .	16
2.4. Procedimiento.....	21
2.5. Método de análisis de datos	23
2.6. Aspectos éticos	23
III. RESULTADOS	24
IV. DISCUSIÓN	33
V. CONCLUSIONES	34
VI. RECOMENDACIONES	35
REFERENCIAS	36
ANEXOS	43
Acta de aprobación de originalidad de tesis	53
Reporte de turnitin.....	54
Autorización de publicación de tesis en repositorio institucional UCV	55
Autorización de la versión final del trabajo de investigación	56

Índice de tablas

Tabla 01. <i>Clasificación taxonómica</i>	12
Tabla 02. <i>Prueba control de cadmio y pH</i>	24
Tabla 03. <i>Determinación de cadmio con las 3 biomásas de Pistia stratiotes a diferentes pH y en los 4 tiempos de residencia.</i>	24
Tabla 04. <i>Resultados finales al realizar la multiplicación por la dilución de la muestra utilizada de 500ml.</i>	25
Tabla 05. <i>Determinación de pH del primer tratamiento en los 20 días de residencia de la Pistia stratiotes.</i>	25
Tabla 06. <i>Determinación de absorción de cadmio del primer tratamiento en los 20 días de residencia de la Pistia stratiotes.</i>	26
Tabla 07. <i>Determinación de pH del segundo tratamiento en los 20 días de residencia de la Pistia stratiotes.</i>	27
Tabla 08. <i>Determinación de absorción de cadmio del segundo tratamiento en los 20 días de residencia de la Pistia stratiotes.</i>	28
Tabla 09. <i>Determinación de pH del tercer tratamiento en los 20 días de residencia de la Pistia stratiotes.</i>	29
Tabla 10. <i>Determinación de absorción de cadmio del tercer tratamiento en los 20 días de residencia de la Pistia stratiotes.</i>	30
Tabla 11. <i>Determinación óptima del pH y tiempo de residencia de Pistia stratiotes para la mayor absorción de cadmio</i>	32

Índice de figuras

<i>Figura 01.</i> Morfología de <i>Pistia stratiotes</i>	12
<i>Figura 02.</i> Mapa de ubicación del “Río El Tingo”.	17
<i>Figura 03.</i> Vista del “Río Tingo”.....	17
<i>Figura 04.</i> pH aplicado al primer tratamiento de <i>Pistia stratiotes</i> en un tiempo de residencia de 20 días.	26
<i>Figura 05.</i> Absorción de cadmio en la primera biomasa en los 20 días de tratamiento.....	27
<i>Figura 06.</i> pH aplicado al segundo tratamiento de <i>Pistia stratiotes</i> en un tiempo de residencia de 20 días.	28
<i>Figura 07.</i> Absorción de cadmio en la segunda biomasa en los 20 días de tratamiento.	29
<i>Figura 08.</i> pH aplicado al tercer tratamiento de <i>Pistia stratiotes</i> en un tiempo de residencia de 20 días.	30
<i>Figura 09.</i> Absorción de cadmio en la tercera biomasa en los 20 días de tratamiento.	31

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo general determinar el pH y tiempo de residencia de la *Pistia stratiotes* para la mayor absorción de cadmio en aguas superficiales, para ejecutar el proyecto se tuvo que adecuar un ambiente con una temperatura entre los 17 a 30 ° C requerida para la supervivencia de la macrófita, en la cual se dispusieron de tres acuarios, cada acuario se disponía de biomasa diferentes de *Pistia stratiotes* destinadas al tratamiento de aguas. Se aplicaron tres biomasa diferentes para cada tratamiento: 1 kg, 1.5 kg y 2 kg las cuales trabajaron respectivamente a diferentes pH, el primer tratamiento con un pH de 7.5, el segundo tratamiento con un pH de 6.5 y el tercer tratamiento con un pH de 5.5; cada acuario contenía 60 litros de agua del Río el Tingo. Estos tratamientos se realizaron en un tiempo de residencia de 5,10, 15 y 20 días de la macrófita; se determinó la concentración inicial del Río el Tingo y posteriormente al culminar cada tratamiento en su respectivo periodo. Se utilizó el método de espectrofotometría de absorción atómica por llama para determinar la cantidad de cadmio absorbida por *Pistia stratiotes* en cada tratamiento y también se aplicó el método electrométrico para determinar pH. Al finalizar los tratamientos se determinó que el pH y tiempo de residencia óptimo de *Pistia stratiotes* para lograr la mayor absorción de cadmio fue de 6.42 a los 20 días logrando un 98.10 % de absorción.

Palabras claves: *Pistia stratiotes*, absorción de cadmio, pH, biomasa.

ABSTRACT

The purpose of this research project was to determine the pH and residence time of *Pistia stratiotes* for the greater absorption of cadmium in surface waters, in order to execute the project, an environment with a temperature between 17 and 30 ° C required for the survival of macrophyte had to be adapted, in which three aquariums, in each aquarium there were different biomass from *Pistia stratiotes* for water treatment. Three different biomass were applied for each treatment: 1 kg, 1.5 kg and 2 kg which worked respectively at different pH, the first treatment with a pH of 7.5, the second treatment with a pH of 6.5 and the third treatment with a pH of 5.5, each aquarium contained 60 liters of water from El Tingo River. These treatments were performed in a residence time of 5, 10, 15 and 20 days of the macrophyte; the initial concentration of El Tingo River was determined and subsequently at the end of each treatment in its respective period. The flame atomic absorption spectrophotometry method was used, which to determine the amount of cadmium absorbed by *Pistia stratiotes* in each treatment and the electrometric method was also applied to determine pH. At the end of the treatments, the pH and optimal residence time of *Pistia stratiotes* were determined to achieve the highest absorption of cadmium was 6.42 at 20 days achieving a 98.10 % absorption.

Keywords: *Pistia stratiotes*, cadmium absorption, pH, biomass.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el ambiente está sufriendo daños producto de las actividades que ejerce el hombre para la obtención de sus productos, los cuales ocasionan impactos negativos en la salud de los seres vivos y recursos naturales. La actividad minera e industrial forma parte de las principales actividades en generar estos impactos que dañan a nuestro ambiente, a través de sus procesos para la fabricación de metales, los cuales no cuentan con ningún tratamiento y los efluentes son depositados en las aguas superficiales, generando daños altamente peligrosos.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2013, párr. 2) menciona que el cadmio es un metal que se emplea en los procesos de obtención del acero y fabricación de plásticos, la composición de cadmio permite que sus componentes sean usados en la elaboración de pilas eléctricas, estos residuos de los procesos son emitidos al ambiente a través de las aguas residuales, y en los fertilizantes empleados en el área local. Los residuos de las actividades manufactureras como es el zinc de las soldaduras, tuberías galvanizadas y ciertos materiales de caños y conductos metálicos, llegan a contaminar el recurso agua evitando su consumo. El cadmio tiene un efecto tóxico que afecta particularmente a los riñones, sistema óseo y respiratorio.

Según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2012, p. 293) el recurso agua es vital y esencial para la vida en el planeta, los seres humanos necesitamos de su disponibilidad para diferentes actividades, consumo doméstico y desempeño de la continuidad de las ocupaciones industriales y agrícolas. Las aguas subterráneas y superficiales se contaminan por efluentes liberados de aguas municipales e industriales, así mismo de labores agrícolas y pecuarias las cuales no reciben previo tratamiento, causando daño en los cuerpos de agua.

Según (Pérez y Azcona, 2012) en la Revista Especialidades Médico-Quirúrgicas afirman que los metales pesados forman parte de un peligro importante para la salud por el contacto ocupacional y ambiental, la exposición puede darse a partir de sustancias líquidas, como es el caso de las cañerías que poseen cadmio en sus soldaduras, también como la fundición de metales y la fabricación pigmentos, baterías, estabilizadores plásticos y plaguicidas.

La industria mundial de cadmio logró un crecimiento de desarrollo en los últimos años, entre los años 2004 y 2007 se fabricaron 18,800 toneladas y 19,900 toneladas respectivamente.

Similarmente sucedió con el porcentaje de elaboración de baterías de níquel-cadmio, durante la fabricación de las manufactureras, los porcentajes sufrieron una reducción a causa de la contaminación ambiental y problemas en la salud. Se estima que cada año se emite un promedio entre 25,000 y 30,000 toneladas de cadmio al ambiente, por lo tanto, alrededor de la mitad se origina de la degradación de las rocas, las cuales se dirigen a los ríos y finalmente desembocan a los océanos. Finalmente se emite entre 4,000 y 13,000 toneladas de cadmio, como resultado de ocupaciones humanas entre minería y uso de combustibles fósiles respectivamente (p. 199-205).

En Japón durante la década del cincuenta, la población sufrió daños a la salud, al ingerir arroz procedente de cultivos contaminados por el derramamiento de cadmio en las riberas del río Jintsu, producto de la actividad minera, como consecuencia la población contrajo una enfermedad que especialmente daña al tejido óseo, conocida como osteoartritis (Sánchez, 2010, p. 93).

En Colombia, durante el año 2013, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014) efectuaron un total de 169 muestras de cadmio, los análisis determinaron elevadas concentraciones de cadmio en tres ríos: Río Negro, Río Bogotá y Río Cararé, a causa del crecimiento de actividades industriales, así mismo la contribución de los diferentes sectores mineros, ganaderos y agrícolas.

En Lima durante el año 2016, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2016) pronunció una orden preventiva a la Empresa Minera San Nicolás S.A. con la finalidad de suspender la liberación de aguas originadas por la compañía minera Colorada en Cajamarca producto del rebalse de su poza de lodos, se comprobó un incremento en cuanto a los parámetros máximos permisibles de tres metales (arsénico, cadmio y mercurio), generando un alto peligro ambiental donde se verificó la acidez del agua (pH 3,07).

En Puno durante el año 2009 en la zona minera de Ananea – Rinconada, se ejecuta una minería irresponsable, en la cual se desarrolla la obtención de oro, a través de diferentes fases de procesamiento, expulsando una cantidad de metales tóxicos como cadmio, plomo y cobre que no son tratados, los cuales son abandonados como efluentes en el río Ramis (Goyzueta y Trigos, 2009, p. 41).

El agua de la cuenca Chancay-Lambayeque ha sido perjudicada por impactos ambientales, la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2012) determinó que en la quebrada Colorada se hallaron metales como aluminio, cadmio y cobre, las cuales son removidas en el distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, Cajamarca, procedentes de ocupaciones mineras y descargas residuales domésticas y municipales.

El Grupo de Formación e Intervención para el Desarrollo Sostenible (GRUFIDES, 2016) dio a conocer que el Ministerio del Ambiente evaluó un informe relacionado a la contaminación de tres ríos en la Provincia de Hualgayoc: Tingo, Arascorgue y Perlamayo, producto de los relaves mineros de las mineras San Nicolás y Cerro Corona, las cuales desembocan en el río Tingo. Actualmente para la absorción de metales en aguas superficiales y residuales, existen métodos de tratamiento, como la fotocatalisis que es una técnica que permite la separación de metales pesados, la cual se apoya en el traspaso de carga por medio del diseño entre la mezcla de agua contaminada y el semiconductor, donde la temperatura incrementa con la conductividad y se crea una asociación de electrón-hueco, donde los fotones y la distribución de diferentes estados electrónicos en el área se adhieren, degradando moléculas orgánicas colorantes y metales pesados (Jaramillo y Taborda, 2006, p. 71).

Es un método que se origina a través de la combustión de carbón, las cenizas volantes se utilizan para la generación de energía, es un subproducto manufacturero, identificado como una sustancia ambiental, debido a su desarrollo en elementos que requieren una dosis menor a un 1mg potencialmente peligroso en la concentración del gas de combustión. Esta técnica, expulsa componentes orgánicos, gases de incineración y metales, debido al aprovechamiento como un adsorbente sustentable (Visa y Chelaru, 2014, p. 14).

Los nanotubos de carbono es una técnica moderna empleada en la expulsión de múltiples compuestos inorgánicos y orgánicos a partir de mayores cuerpos de aguas residuales, debido al gran rendimiento excelente de tipos de adsorbentes y en comparación tiene características similares a la adsorción de diversos metales en mezclas acuosas (Ren, 2011, p. 395).

La técnica a emplear actualmente para la absorción de metales es la fitorremediación, compuesta de plantas que sirve para mitigar las concentraciones o impactos graves de los contaminantes en el ambiente, sobresale por ser una tecnología moderna y se distingue como una tecnología productiva, rentable y novedosa con el ambiente e impulsada por energía solar con buena aceptación pública. La fitorremediación es un área de investigación activa

actual, dónde se está explorando nuevas plantas hiperacumuladoras de metales, para comprender mejor los mecanismos de captación, translocación, tolerancia y secuestro de los metales en las plantas (Ali, Khan y Sajad, 2013, p. 869).

Para la ejecución del siguiente trabajo de investigación se ha estimado a los siguientes especialistas en el tema con sus respectivas tesis y artículos.

Pozo (2016, p. 5) menciona en su proyecto de investigación “Eficiencia de las plantas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* para la remoción de cadmio de las aguas del río Surco, 2016” se desarrolló un tratamiento de aguas por 20 días. Teniendo como objetivo la eficiencia de dos especies macrófitas para la absorción de aguas contaminadas por cadmio, se realizó una técnica diferente para cada macrófita; considerando tres repeticiones para cada técnica. Se evaluó los niveles de cadmio previamente y posteriormente al tratamiento, la primera evaluación se analizó mediante el método de espectrometría de emisión con plasma (ICP), para precisar la existencia de cadmio y otros metales, así mismo para verificar si superaba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA); los siguientes análisis se realizaron mediante el método de espectrometría de absorción atómica (EAA), la cual ayudó a precisar la dosis de cadmio absorbido por las diferentes técnicas.

En el transcurso del tiempo de tratamiento *Eichhornia crassipes* logró mostrar una mayor capacidad en cuánto a la absorción de cadmio que *Pistia stratiotes*, presentando mejores propiedades iniciales del agua. Al concluir el tratamiento, *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* obtuvieron un 68 % y 67 % respectivamente, siendo *Eichhornia crassipes* la macrófita más efectiva en la absorción de cadmio.

Maine, Suñé y Lager (2004, p. 1494) da a conocer en el presente artículo la “Bioacumulación de cromo: comparación de la capacidad de dos macrófitas acuáticas flotantes”. Tiene como objetivo evaluar la capacidad de *Salvinia herzogii* y *Pistia stratiotes* para eliminar el cromo (III) del agua y su comportamiento en diferentes concentraciones, se estudió en experimentos al aire libre. Se analizó la organización de cromo en partes aéreas y raíces con el tiempo y posibles mecanismos de captación. Los dos macrófitas removieron eficazmente el cromo del agua en concentraciones de 1, 2, 4 y 6 mg de Cr L⁻¹, *Salvinia herzogii* fue la especie mejor adaptada. A una elevada concentración inicial, se observaron tasas superiores de bioacumulación, la absorción de cromo en la raíz fue un proceso veloz que se completó dentro de las primeras 24 horas.

La captación de cromo por medio del contacto directo entre las hojas y la mezcla es la causa primordial del aumento de cromo en las partes aéreas, siendo poco trasladado de las raíces a las partes aéreas. Los dos mecanismos fueron procesos veloces. El mecanismo de captación de cromo implica dos componentes: un componente rápido y uno lento. El primero se debe principalmente a la adsorción de las raíces y las hojas, semejante para las dos especies. Por último, *Salvinia herzogii* fue más eficaz que *Pistia stratiotes* al capturar cromo.

Duarte, Suñé y Maine (2001, p. 2629), Titulan su artículo “Captación de cadmio por macrófitos flotantes”. El objetivo principal es analizar la capacidad de absorción de cadmio en un grupo de macrófitos flotantes (*Pistia stratiotes*, *Salvinia herzogii*, *Eichhornia crassipes* y *Hydromistia stolonifera*). Se determinó en experimentos al aire libre en la temperatura más baja del año, aunque todas las especies estudiadas fueron extraordinariamente eficaces en la captación de cadmio, *Pistia stratiotes* se seleccionó para la exploración gracias a su desempeño superior y su más grande tasa de desarrollo relativo promedio. El porcentaje de expulsión de cadmio por *Pistia stratiotes* fue considerablemente en las primeras 24 horas de los experimentos (63 %, 65 %, 72 % y 74 %) del cadmio añadido para 1, 2, 4 y 6 mg Cd l⁻¹, respectivamente.

Luego de 31 días de desarrollo, *Pistia stratiotes* eliminó eficientemente cadmio en las concentraciones estudiadas. A mayor concentración inicial, superiores tasas de bioacumulación de cadmio, el aumento del nivel de cadmio en los tejidos de las plantas resultó principalmente en las raíces. La captación por la raíz fue más eficaz que la translocación a la parte aérea de la planta y se produce primordialmente a lo largo de las primeras 24 horas.

Odjegba y Fasidi (2004, p. 637), En su artículo titulado “Acumulación de elementos por *Pistia stratiotes*: Implicaciones para la fitorremediación”. Teniendo como objetivo principal, determinar la suficiente tolerancia y acumulación de metal en *Pistia stratiotes*. Se estudió la toxicidad de ocho elementos químicos altamente peligrosos (Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn) para *Pistia stratiotes*, la cual pueda ser empleada como fitorremediador de aguas residuales o cuerpos de agua naturales contaminados con metales pesados. Las plantas jóvenes de similar tamaño se sembraron hidropónicamente y se alteraron con 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0 y 5.0 mm de cada metal pesado particularmente durante 21 días. El alargamiento de la raíz, así como la aparición de nuevas raíces, redujeron significativamente con el incremento de las densidades de metales.

La planta tuvo los registros de tolerancia más bajos y más altos para Hg y Zn respectivamente. El estudio señaló una disminución en la medida de extensión de la hoja en correlación con la clase de metal, sus concentraciones y tiempo de la exposición. Todos los metales estudiados se concentraron a niveles superiores en el tejido de la raíz, la acumulación de elementos apareció en los tejidos y las causas de bioconcentración fueron equitativas a la concentración inicial de metales individuales en el medio de crecimiento y la duración de la exposición. En términos de eliminación de elementos, *Pistia stratiotes* presentó acumulación diferencial y niveles de tolerancia para múltiples metales en circunstancias de métodos similares.

Aguayo (2015, p. 6), En la presente investigación “Determinación de la acumulación de los metales pesados plomo, cadmio y cromo en la planta *Pistia stratiotes* conocida como lechuga de agua”. Tiene como objetivo principal calcular el porcentaje de retención de metales pesados; cadmio, plomo y cromo en *Pistia stratiotes*. Se tomó un prototipo experimental, donde se investigó el crecimiento de la planta en un medio donde se observaba los niveles de los metales a investigar. El método a utilizar fue un instrumento de absorción atómica con el objetivo de calcular la cantidad de metales almacenados en la taxonomía de la planta: Hojas, tallo y raíz, como resultado se descubrió: 500.698 en hojas, 2800.211 en tallo y 140.955 en raíces en Pb, seguidamente se obtuvo un resultado de 88.432 en hojas, 640.061 en tallo y 24.294 en raíces en Cr y por último fue de 42.217 en hojas, 685.597 en tallo y 32.289 en raíces de cadmio.

Los resultados están representados en unidades de microgramos por gramo, posteriormente se pudo verificar que los metales pesados en niveles de 0.5 ppm, 1 ppm, 3 ppm, 5 ppm, y 7 ppm causan daños en el desarrollo de *Pistia stratiotes* sin provocar daños mayores. En conclusión, *Pistia stratiotes* es eficaz para la absorción de metales pesados.

En el presente artículo de Meza et al. (2013), tiene como título “Bioabsorción de Pb (II) y Cr (III) utilizando la planta acuática *Pistia stratiotes*”. Tiene como objetivo la evaluación de la capacidad de la macrófita flotante *Pistia stratiotes* para la bioabsorción de Pb (II) y Cr (III), a escala de laboratorio. Se tomaron efluentes artificiales contaminados con Pb (II) (1 y 5 mg / L) Cr (III) (4 y 6 mg / L) y se elaboró una mezcla de Pb (II) (5 mg / L) y Cr (III) (4 mg / L), seleccionaron muestras de efluentes en un tiempo de 24 horas para tener en cuenta el pH, la alcalinidad total, la temperatura, el oxígeno disuelto y la concentración de metales,

en un periodo de 15 días. Los resultados determinan una reducción en los niveles de los metales en cuanto al periodo de estudio.

La supresión total para Pb (II) fue de 76.8 y 81.3 %; Cr (III) 81.1 y 69.9 % y 73.4 % Pb (II) y 77.9 % Cr (III) para la solución, la considerable remoción de metales se logró en los primeros días de la prueba, esencialmente acumulada en las raíces de las plantas. En conclusión, *Pistia stratiotes* es eficiente por la capacidad de absorción en aguas residuales contaminadas con metales (p. 49).

Se consiguió una mayor correlación entre el líquido final y la concentración de macrófitos metálicos. Se analizó Pb por *P. stratiotes*, *S. intermedia* y *L. minor*; previamente al muestreo los macrófitos acumularon Fe y Mn del ambiente acuático (*P. stratiotes*: Fe 7.97 mg g⁻¹; Mn 1.09 mg g⁻¹; *S. intermedia*: Fe 4.11 mg g⁻¹; Mn 5.04 mg g⁻¹). En conclusión, los macrófitos resultaron muy efectivos en la absorción de metales pesados.

En el presente artículo de Aurangzeb, Nisa, Bibi, Jave y Hussain (2014, p. 881) titulado “Potencial de fitorremediación de hierbas acuáticas en fundición de acero efluente”. Teniendo como objetivo principal comprobar la capacidad de fitorremediación de dos plantas de flotación libre, *Eichhornia crassipes* y *Pistia Stratiotes*, ambas con una biomasa total de 250 gramos, para la expulsión de metales pesados de efluentes de acero mediante el uso de Espectrofotometría de Absorción Atómica, *P. stratiotes* logró extraer una cantidad de metales pesados, mostrando la correlación más alta para Pb y Cu con 70.7 % y 66.5 % de eficiencia, respectivamente, mientras que *E. crassipes* tiene una mejor capacidad fitorremediadora para agua contaminada, logró tener una absorción avanzada para Cd, Cu, As, Al y Pb, en un 82.8 %, 78.6 %, 74 %, 73 % y 73 %, respectivamente. Se concluye que las plantas acuáticas son un tratamiento eficiente de fitoextracción de efluentes industriales debido a la sustentabilidad económica.

Paris, Hadad, Maine y Suñe (2005, p. 237) en su artículo “Eficiencia de dos macrófitas flotantes libres en la absorción de metales pesados”. Teniendo como principal objetivo la determinación de eficacia de dos macrófitas *P. stratiotes* y *S. herzogii* para absorción de Cr, Cd y Pb, en un tiempo de 17 días y un pH de 6.87, se aplicó el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, la cual determinó el nivel de concentración de los metales en las partes aéreas de las especies, a una temperatura diaria que varió entre 25 y 30 °C.

Se analizaron muestras del agua de los reactores a las 0, 0.5, 1, 2, 8 y 24 horas, 2 y 17 días. Como resultado se mostró en las 2, 24 y 48 horas una remoción del 60 % y al finalizar el tratamiento un 90 % y 100 % de las dos especies respectivamente, pero se concluye que la especie *S. herzogii* es más eficiente en comparación con *Pistia stratiotes*.

Basu, Kumar y Mukherjee (2003, p. 143) menciona en su artículo “Reducción de arsénico del medio acuoso por lechuga de agua”. Tiene como objetivo principal la reducción de arsénico a través de la absorción de la macrófita *Pistia stratiotes*, con un tiempo de tratamiento de 144 horas y una concentración inicial de 1 mg As/L. Las macrófitas fueron colocadas en un estanque situado en laboratorio. La bioacumulación dependía de la biomasa de la especie, se empleó una biomasa de 20 gramos a un pH 7.0, logrando absorber un 82 %. Se realizó una prueba a un pH de 6.5 logrando absorber un 87.5 % de arsénico. Se concluye que la especie *Pistia stratiotes* es más eficiente para la remoción de arsénico a un pH de 6.5.

La Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2018) define a las aguas superficiales como aquellas que proceden de la lluvia, afloramiento del subsuelo, deshielos o nieve que se depositan y forman en: ríos, lagos, reservorios, manantiales, corrientes, océanos, mares y humedades. Para su clasificación la Autoridad Nacional del Agua se basa en la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338 establece en su artículo 73° que la “Clasificación de los Cuerpos de Aguas Superficiales” serán emitidos por la Autoridad Nacional del Agua la cual es necesaria como una herramienta técnica que contribuya a la protección y conservación de la calidad de los recursos hídricos, teniendo en consideración los ECA, buscando una evaluación y monitoreo constante para el tratamiento de éstas aguas, clasificándolas en:

El uso de agua a nivel de río principal y afluentes está formado por ríos y embalses con el fin de abastecer a la población y actividades productivas sin alterar la calidad del agua.

Las áreas naturales protegidas por el estado (ANPE) son aquellos cuerpos de agua que albergan ecosistemas acuáticos, se debe mantener su condición natural y su estado de conservación inicial.

Las áreas de las comunidades nativas e indígenas (ACNI) son cuerpos de agua superficial que se encuentran en los territorios de los pueblos indígenas, se prohíbe almacenar y realizar disposiciones de materiales peligrosos.

La conservación de cuerpo de agua lenticos está constituida por lagos, lagunas y humedales son considerados como reservorios de agua, por proveer recursos importantes para las poblaciones locales.

Según (Ramírez, 2002, p. 51) define al cadmio como un elemento químico con número atómico 48 y peso atómico 112; su formación se produce a través de los procesos de obtención de zinc y plomo, aplicando sulfuro de cadmio; en las diferentes actividades se forma un componente muy peligroso, provocando una alteración en el ambiente a partir de sus procesos de fundición y refinación.

El cadmio surge de la actividad más significativa en la combustión de carbón y petróleo, así mismo en la quema de residuos y utilización de fertilizantes, también ocasiona daños en el aire en los procesos de fusión de rocas para obtener zinc, cobre y plomo; al entrar en contacto a los cuerpos de agua se debe a los vertidos residuales e industriales (Madeddu, 2005, p. 4).

Según (Dushenkov y Raskin, 1999, p. 2629) afirma que la absorción de metales se desarrolla mediante la raíz, donde la planta se alimenta a través de las sales inorgánicas, posteriormente son movilizadas al tallo y a las hojas.

La planta es afectada por la alteración del pH, provoca una intolerancia de pH bajos por parte de las enzimas que conforman parte de la planta, debido al aparato celular afectado por niveles de iones hidronios elevados (Pankit y Bhave, 2002, p. 403).

El tiempo de residencia es el tiempo que necesita un determinado elemento para cumplir con tres fases: entrada, estabilidad y salida; lo cual está fijado por parámetros óptimos, como la temperatura, nivel del metal y pH (Navarro, 2007, p. 10).

La fitorremediación es el uso de plantas con la capacidad de controlar los niveles y reducir los impactos negativos producto de los contaminantes ocasionados en el ambiente. Es una ciencia nueva, reciente y se define como una tecnología eficaz y rentable (Hazrat, Ezzat y Muhammad, 2013, p. 870).

Son plantas capaces de almacenar contaminantes diluidos en el agua, permitiendo su descomposición y absorción. La fitorremediación se divide en 6 tipos: fitoextracción, fitodegradación, rizofiltración, fitoestimulación, fitovolatilización y fitoestabilización (Andrade, 2015, p. 23).

La fitoextracción son plantas que tienen la capacidad de absorber compuestos tóxicos y metales en toda su taxonomía, así mismo permite la absorción de componentes orgánicos.

La fitodegradación son aquellas especies que retienen, atraen y descomponen elementos orgánicos, con el fin de reducir su toxicidad inicial, a través de la reacción enzimática ejercida por microorganismos y plantas, finalmente estos elementos serán descompuestos totalmente o permanentemente.

La rizofiltración son las plantas que a través de la raíz almacena y absorbe compuestos químicos provocados por los residuos contaminados de vertimientos industriales y mineros.

La fitoestimulación ejecuta por medio de las raíces la descomposición de elementos tóxicos, así mismo se encargan de emitir oxígeno, enzimas, azúcares simples y nutrientes, las cuales son transportadas desde la parte superior hasta las raíces de la planta.

La fitovolatilización son plantas que alteran y absorben elementos tóxicos, los cuales se ubican en aguas contaminadas, suelos y residuos, con el fin de ser removidos, transformados y trasladados a partir de la raíz hasta la parte más elevada de la planta, permitiendo su liberación al ambiente mediante la transpiración en sustancias menos peligrosas.

La fitoestabilización son plantas que tienen la capacidad de captar y disminuir elementos pesados y otros contaminantes peligrosos, las cuales son dañinas y dirigidas hacia la atmósfera, por tal motivo se adhieren firmemente a la raíz, evitando su migración (Núñez, Meas, Ortega y Olguín, 2004, p. 70).

Para la expulsión de los metales pesados, las especies flotantes tienen que intervenir en tres fases: Filtración y sedimentación de sólidos, adhesión de nutrientes en plantas y descomposición de sustancias orgánicas a partir de microorganismos facultativos en unión a las raíces de la planta (Martelo y Lara, 2012, p. 223).

Las fases de la fitorremediación del agua o suelo se basan en el empleo de plantas con la capacidad de captar en sus raíces los contaminantes, posteriormente dirigiéndolos hacia el tallo y las hojas para que estos los eliminen mediante los mecanismos siguiendo las tres fases de la fitorremediación: Absorción, Excreción y Desintoxicación de los contaminantes (Delgadillo, Abelardo, Prieto, Villagómez y Acevedo, p. 597).

La excreción que se absorben por las raíces, se elimina a través de las hojas. En el momento que el nivel del contaminante se eleva, menos del 5% se excreta sin sufrir alguna variación en su estructura química (Bonilla, 2013, p. 95).

La absorción de los metales se desarrolla mediante la raíz y a través de las hojas mediante la cutícula de la epidermis y las estomas. (Watt y Evans, 1999, p.317).

(Agudelo, Macías y Suarez, 2005, p. 57), proponen que la desintoxicación de las composiciones orgánicas se lleva mediante la mineralización hasta dióxido de carbono en el caso de contaminantes químicos orgánicos que se descomponen; para niveles altos de concentración de metal se emplea la incineración controlada y desechan las cenizas en zonas disponibles y seguras para este fin.

Según la revista (Flores y plantas, 2017) revela que la especie *Pistia stratiotes* se encuentra en agua dulce, ubicada en zonas tropicales y subtropicales de tres continentes: Asia, África y América; está localizada en arroyos, ríos y lagunas, la cual crea un manto en la superficie que ensucia el agua y desempeña como hábitat de mosquitos, la planta al no ser tolerante puede ocasionar problemas en toda su taxonomía, como envejecimiento, amarillez en sus hojas y destrucción de sus tejidos.

Pistia stratiotes cuando está ubicada en lagunas, ríos mantiene una temperatura de crecimiento habitual dentro de los 17°C a 30°C, previniendo que llegue alcanzar niveles bajos de los 15°C debido a que sufre una detención en su desarrollo, los parámetros de pH están entre 5,5 y 7,5; el agua se encuentra levemente ácida y alcalina. Clasifica a las plantas macrófitas según su morfología y fisiología. Se divide en 3 tipos: plantas macrófitas emergentes, plantas macrófitas de hojas flotantes y plantas macrófitas sumergidas.

Las plantas macrófitas emergentes habitualmente son especies permanentes con órganos reproductores aéreos, habitados en sustratos sumergidos de forma fija o momentánea.

Las plantas macrófitas de hojas flotantes primordialmente se destacan por cubrir sus semillas, las cuales crecen internamente al fruto, sus órganos reproductores son emergentes o aéreos y habitan sobre sustratos sumergidos.

Las plantas macrófitas sumergidas generalmente sus especies son helechos y musgos, donde se observa el crecimiento al interior del fruto, estos tipos de plantas están habitadas en los

territorios que llega iluminación y no frecuentan habitar a profundidades mayores a 10 metros. Son especies con órganos reproductores emergentes.

Clasificación de la macrófita *Pistia stratiotes*:

Tabla 01. Clasificación taxonómica

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alismatales
Familia	Araceae
Género	Pistia
Especie	stratiotes

Fuente: Elaboración propia

Según (Reeves, 2003, p.57) menciona que la macrófita *Pistia stratiotes* desarrolla el proceso de fitoacumulación o fitoextracción, el cual consiste en la absorción de metales a través de la raíz y su acumulación en hojas y tallos.

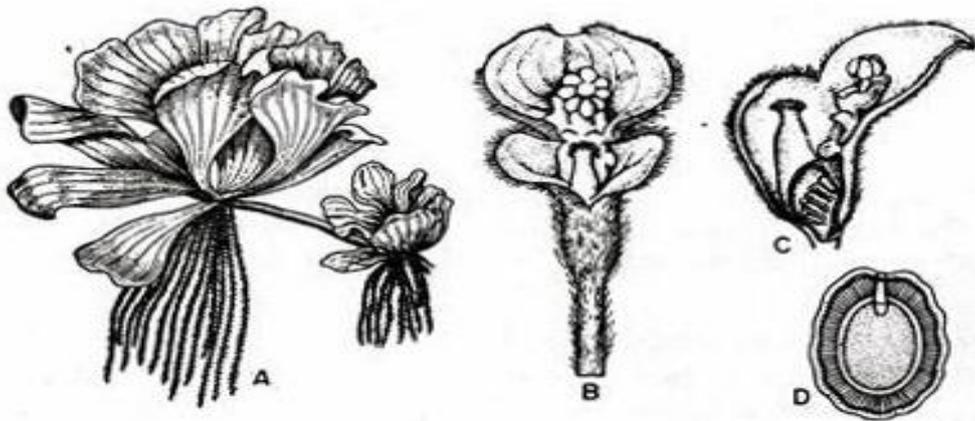


Fig. 34. *Pistia stratiotes* L. A—a plant with stolon; B—spadix ($\times 10$); C—L.s. of same, showing male and female flowers; D—L.s. of seed (much enlarged).

Figura 01. Morfología de *Pistia stratiotes*.

Fuente: Revista de Flores y plantas

La especie *Pistia stratiotes* además está empleada como alimento para animal vacuno, donde existen investigaciones que demuestran un nivel un alto de proteína, extracto libre de fibra y nitrógeno, así mismo, determinados minerales como: sodio, fósforo, magnesio, hierro, calcio y potasio. De tal manera alcanzaría una fuente de energía en la formulación y producción de alimento para animales (Rodríguez y Palma, 2000, p. 213).

La lechuga de agua químicamente conforma: glucósidos, esteroides activos y alcaloides, así mismo en su estructura incorpora: fósforo, calcio, grasas, carbohidratos, proteínas y fibras. Además, incluye vitaminas A, B y C, cloruro de potasio y altamente rico en celulosa (Trioathi, Kumar y Gupta, 2010, p. 153).

La acumulación del cadmio en *Pistia stratiotes* se presenta en las hojas, raíz y tallo, cuando se acumula en la raíz es transportado a la vacuola de las células y una pequeña parte es trasladada a la parte superior de la planta concentrándose en hojas y tallos. El ingreso del cadmio a la vacuola es mediante la intervención de las fitoquelatinas, una vez fijado el cadmio en la raíz se transporta al xilema creando complejos a través de los plasmodesmos, las cuales conectan los citoplasmas de todas las células, llevando a cabo el sistema simplástico, con el fin de facilitar el transporte de sustancias (Rodríguez, Martínez, Romero y Río, 2008, p. 139).

El cadmio puede ser secuestrado por metalotioneínas, fitoquelatinas, aminoácidos y ácidos orgánicos dentro de la vacuola de las células. Las fitoquelatinas derivan el glutatión el cual forma una defensa para eliminar la destoxificación del metal (Clemens, 2006, p. 1707).

Una de las principales defensas de la raíz lo forma las pectinas de la pared celular, las cuales permiten inmovilizar al cadmio, asimismo la calosa y el mucílago son carbohidratos que ayudan a inmovilizar el metal ubicado en la raíz (Benavides, 2005, p. 21).

Según (Thomine, Wang, Ward, Crawford y Schroeder, 2013, p. 4991) manifiestan que existe un transportador Nramp ubicado en la membrana de la vacuola, el cual está implicado en el transporte del metal.

El cadmio es captado mediante las células de las raíces donde inicialmente se adhieren a la pared celular de las células epidérmicas para posteriormente ser transportado al resto de la planta. Entre los daños principales a los altos niveles de cadmio en la planta, es el decrecimiento de en la elongación de la raíz y la reducción en el crecimiento de la macrófita (Pernía, Desousa, Reyes y Castrillo, 2008, p. 112).

Según Farnese et al. (2014, p. 123) el aumento de la producción de intermedio reactivos de oxígeno (ROI) a surge del estrés oxidativo, la cual altera el metabolismo natural de las plantas y puede causar daño a las membranas celulares, muerte celular y retraso del crecimiento.

Según (Torres, Navarro, Languasco, Campos y Cuizano, 2007, p. 14) consideran que cuando la planta alcanza el nivel tóxico del metal, surge producto de una variación entre el ión del metal con el ión de la célula que forman parte de las organelas celulares. La respuesta de la planta ante estos cambios fisiológicos. Los síntomas más comunes: necrosis y envejecimiento en las hojas.

La contaminación por metales tiene un efecto nocivo en los sistemas biológicos y no sufre biodegradación. Los metales pesados tóxicos, como Pb, Co, Cd, pueden diferenciarse de otros contaminantes, ya que no pueden ser biodegradados, pero pueden acumularse en organismos vivos, causando diversas enfermedades y trastornos incluso en concentraciones relativamente más bajas. (Pehlivan, Özkan, Dinç y Parlayici, 2009, p. 1044).

Para determinar el problema se plantea lo siguiente ¿Cuál será el pH y tiempo de residencia para la mayor absorción de cadmio en aguas superficiales por acción de la *Pistia stratiotes*?

Actualmente se está incrementando el desarrollo de las actividades humanas las cuales están perjudicando principalmente el recurso agua, lamentablemente no se cuenta con medidas de mitigación o tratamientos avanzados para la reducción y control de estos impactos. En el caso de las aguas producto de minerías e industrias no se cuentan con un tratamiento adecuado, las cuales son vertidas y removidas en cuerpos de agua superficial.

La gran cantidad de agua superficial afectada en nuestro País se debe por los procesos que se ejercen en las industrias, ocasionando daños y disposiciones inadecuadas en éstos cuerpos de agua, por esa razón es que se estudia esta nueva fitotecnología, es la aplicación de la técnica de fitorremediación, usando las condiciones óptimas e importantes de la especie *Pistia stratiotes* llamada comúnmente como lechuga de agua, la cual es una macrófita que ayuda a retener en su taxonomía, ya sea hojas, raíz y tallo una variedad de oligoelementos tóxicos, teniendo valores altos de absorción (65 % - 98 %). Esta técnica permite descontaminar el agua con metales pesados, lo cual logrará reducir altos niveles de contaminación, basándonos en la normativa de los Estándares de Calidad Ambiental.

Pistia stratiotes es una especie muy fácil de obtener y se adapta a temperaturas mayores a 17°C, lo cual se define como un proyecto sustentable. En conclusión, se busca tratar y recuperar las aguas superficiales contaminadas con metales.

Para realizar el presente trabajo de investigación se plantea el siguiente objetivo general.

- Determinar el pH y tiempo de residencia de la *Pistia stratiotes* para la mayor absorción de cadmio en aguas superficiales.

Así mismo se plantean los siguientes objetivos específicos.

- Determinar la concentración de cadmio inicialmente presente en el agua superficial.
- Determinar el pH para la mayor absorción de cadmio por acción de *Pistia stratiotes*.
- Determinar el tiempo de residencia para la mayor absorción de cadmio por acción de *Pistia stratiotes*.
- Determinar la biomasa más eficiente de *Pistia stratiotes* para la mayor absorción de cadmio de aguas superficiales.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se plantean las siguientes dos hipótesis.

Ha: El pH y tiempo de residencia de la *Pistia stratiotes* influyen para la mayor absorción de cadmio de aguas superficiales.

H0: El pH y tiempo de residencia de la *Pistia stratiotes* no influyen para la mayor absorción de cadmio de aguas superficiales.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación es de tipo aplicada con un diseño cuasi experimental se contará con un grupo control y varios grupos experimentales al cual se manipularán la variable independiente

VARIABLES Y DEFINICIÓN OPERACIONAL

Variable Independiente:

pH y tiempo de residencia de *Pistia stratiotes*.

Variable Dependiente:

Absorción de cadmio.

2.2. Población, muestra y muestreo

2.2.1. Población.

Formó parte el agua superficial del río Tingo – Provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca con coordenadas geográficas O: 760611 y S: 92522582.

2.2.2. Muestra.

La muestra fue una cantidad de 180 litros del río Tingo – Hualgayoc, tomando muestra de diferentes puntos.

2.2.3. Muestreo.

No probabilístico muestra por conveniencia.

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

2.3.1. Técnicas de recolección de datos.

La técnica a utilizar es la de observación minuciosa para cada procedimiento a realizar en la ejecución del proyecto de investigación, en cuanto a lo que es los instrumentos se van a realizar fichas para determinar los resultados cuantitativos a partir de los análisis del agua en tratamiento.

2.3.2. Técnica de campo.

Primeramente, se localizó el río Tingo, tomando las respectivas coordenadas. Seguidamente se observará las zonas más críticas del río Tingo - Hualgayoc para

realizas el muestreo respectivo, las cuales fueron almacenadas en depósitos de 20 litros y correctamente cerradas, para evitar cualquier tipo de contaminación.



Figura 02. Mapa de ubicación del “Río El Tingo”.



Figura 03. Vista del “Río Tingo”.

2.3.2.1 Fase preliminar.

En esta fase se desarrollará la adaptación del medio para el proyecto de investigación, el cual será una vivienda que cumpla con las siguientes condiciones: temperatura, luz y ventilación. Las plantas de *Pistia stratiotes* se obtuvieron del dren Lambayeque, fueron seleccionadas con el mismo tamaño, pero diferentes pesos. Se llevará a cabo unas fichas para el registro respectivo.

2.3.2.2 Primera fase.

Visita al río El Tingo - Hualgayoc para realizar el análisis respectivo del agua, en nuestro grupo control se logrará la concentración inicial de cadmio y pH. El agua obtenida será repartida en tres estanques con volúmenes iguales de 60 litros, posteriormente se regularán los pH a 5.5, 6.5 y 7.5; seguidamente se incorporará las macrófitas.

La primera biomasa (B1) se trabajará con 1 kg a un pH de 7.5, la segunda biomasa (B2) con un 1.5 kg a un pH de 6.5 y la tercera biomasa (B3) con 2 kg a un pH de 5.5. Se realizará un monitoreo minucioso al desarrollo de las plantas, plagas, marchitamiento, con la finalidad de adaptación de las plantas a su nuevo entorno.

2.3.2.3 Segunda fase.

A partir de la adaptación de las macrófitas a su nuevo entorno, se comenzará a ejecutar el método electrométrico para determinar pH y el método de espectrofotometría de absorción atómica con flama (EAA), en el primer día y posteriormente cada cinco días por un periodo de tratamiento de residencia de 20 días con el fin de evaluar la mayor absorción de cadmio a diferentes pHs por acción de *Pistia stratiotes* de las aguas del río Tingo - Hualgayoc.

Se elaborarán fichas de análisis para el registro de datos de las concentraciones del metal a medir.

2.3.2.4 Fase final.

En esta fase se reunirán las fichas con los resultados de las fases anteriores, las cuales nos permitirán conseguir los datos que argumentará nuestros objetivos.

2.3.3 Métodos Analíticos.

Métodos para determinar la absorción de cadmio y pH.

2.3.3.1 Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Flama.

Es una técnica utilizada para determinar el nivel de metales pesados en aguas superficiales, residuales e industriales con un rango de 0,025 a 3 mg/L, en el caso del cadmio se empleará el espectrofotómetro de norma SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3111 D, 23rd Ed. para determinar la absorción atómica por flama modelo AA 500. La muestra es digerida para minimizar la obstrucción de materia orgánica y transformar todo el metal a una forma liberada a 228.8 nanómetros, para reducir el pH se colocará ácido nítrico, logrando un pH menor a 2.0.

Se usan gases para generar la combustión para producir la flama y se emplea una curva de calibración, el equipo cuenta con una base de datos en la cual mecánicamente al introducir la curva y al evaluar las muestras dará como resultado el nivel de concentración del metal medido. (APHA, 1992).

(SKOGG Y HOLLER, 1998) en su libro “Principios de análisis Instrumental” clasifica a los elementos de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica: Fuente de radiación, quemador nebulizador, monocromador, detector, amplificador y sistema de lectura.

Primordialmente se necesita de una fuente de radiación estable que permita captar los átomos del elemento que se desea analizar; un nebulizador para producir la flama a partir de un combustible, ya sea un oxidante como el aire o un acetileno; el monocromador es una rejilla que limita la entrada de la radiación producida por la fuente, se selecciona la longitud de onda con la cual se desea iluminar la muestra; el detector está conformado por fotoceldas que convierte la energía de la muestra a una energía eléctrica proporcional; el amplificador se encarga de ampliar la señal eléctrica producida y finalmente el sistema de lectura permite determinar e interpretar los datos a través de un graficador que posteriormente son procesados en la computadora.

2.3.3.2 Método electrométrico.

Es una técnica que se usa para determinar pH a partir de las medidas potenciométricas de la actividad de los iones hidrógeno utilizando un electrodo de hidrógeno de vidrio asociado a un electrodo de referencia. El electrodo de vidrio está protegido ante la obstrucción de la turbidez, cloro libre, oxidantes y color, éste vidrio sólo se daña cuando la superficie de la membrana se encuentra con grasa o materia orgánica lo cual impide el contacto con la muestra. Existen dos interferencias: material graso o las partículas recubiertas logran obstruir la respuesta del electrodo; y la temperatura que causa variaciones en las propiedades de los electrodos. En el procedimiento primeramente se calibra el instrumento y seguidamente se mide la muestra, posteriormente se agita la muestra para evitar el ingreso de dióxido de carbono, es una técnica que se emplea en aguas industriales, residuales y superficiales. (APHA, 1992).

2.3.4 Instrumentos, Materiales y Equipos De Recolección De Datos.

2.3.4.1 Instrumentos de recolección de Datos.

Se empleará fichas de muestreo para la toma de datos cuantitativos conseguidos a partir de las evaluaciones y análisis aplicados al tratamiento del agua, sirviéndome de ayuda para un adecuado seguimiento en los períodos establecidos durante el tratamiento.

Equipos de laboratorio:

- Conductímetro.
- Espectrofotómetro de absorción atómica AA 500. FLAMA.
- Balanza electrónica.

Materiales de campo:

- Galoneras.
- Guardapolvo.
- Guantes.
- Mascarilla.
- Agenda de apuntes.
- Cámara fotográfica.

Materiales de laboratorio:

- Vasos de precipitación de 250 ml.
- Pipetas de 10ml.
- Agua destilada.
- Guardapolvo.
- Guantes.
- Mascarilla.

2.3.5 Validez y confiabilidad.

Para el análisis de aguas con cadmio se utilizó el método de absorción atómica con el espectrofotómetro de absorción atómica con llama para determinar la absorción de cadmio en las aguas superficiales del río El Tingo, además se determinará pH, siendo la Universidad Cesar Vallejo el centro de laboratorio para acreditar los resultados de pH y la Empresa Epsel encargada de acreditar el método y resultados de cadmio.

2.4 Procedimiento

2.4.2 Determinación de la concentración de cadmio y pH.

Se ejecutó el método electrométrico para determinar los diferentes pH y el método de espectrofotometría de absorción atómica con flama (EAA), por un periodo de 20 días. Se realizó el análisis de cadmio, el cual tuvo como resultado 0.040 mg Cd/L y un pH de 2.93 la muestra se tuvo que enriquecer, porque no superaba el Estándar de Calidad Ambiental de 0.050 mg Cd/L.

2.4.3 Variación del pH.

En los estanques de agua se logró la variación de los pH, en la muestra inicial se obtuvo un pH de 2.93 relativamente ácida proveniente del río el Tingo, para la variación de pH se utilizó las cantidades de 50 ml, 45 ml y 40 ml de hidróxido de sodio para establecer los pH de 5.5., 6.5 y 7.5 respectivamente en cada estanque, posteriormente se instalaron las tres diferentes biomásas con sus pH respectivos.

2.4.4 Elaboración de estanques de agua.

Se dispuso de tres acuarios de agua fabricados con vidrio, conteniendo tres biomasas con diferentes pesos de *Pistia stratiotes*, los cuales serán de: 1 kg, 1.5 kg y 2 kg, cada estanque conservó 60 litros de agua superficial del río El Tingo – Hualgayoc.

2.4.5 Flujograma.



2.5 Método de análisis de datos

Los datos analizar, serán procesados por una hoja de cálculo Excel, donde se introducirán los datos para elaborar gráficos y poder interpretarlas para su posterior exposición, el presente proyecto de investigación se ejecutará en un tiempo de 4 meses.

2.6 Aspectos éticos

Toda la información y datos fueron obtenidos producto de investigación propia tanto en bibliografía virtual y física, asesoramiento de profesionales capacitados y métodos de lectura, todos estos datos son verdaderos, estos fueron obtenidos de fuentes confiables y veraces cabe recalcar que siempre he actuado teniendo en cuenta mis principios éticos y mis valores, el cual le da un valor agregado a mi proyecto de investigación.

III. RESULTADOS

3.1. Determinación de la concentración inicial de cadmio y pH

La determinación inicial del río Tingo fue de 0.040 mg Cd/L y un pH de 2.93, la muestra se tuvo que enriquecer en laboratorio porque no superaba el Límite Máximo Permisible de 0.050 mg Cd/L. Al enriquecer la muestra en laboratorio, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 02. *Prueba control de cadmio y pH.*

PRUEBA CONTROL	RESULTADOS	UNIDAD
Concentración de cadmio	2.63	mg Cd/L
pH	6.52	-

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Resultados de la absorción de cadmio en los 20 días de tiempo de residencia de *Pistia stratiotes*

Tabla 03. *Determinación de cadmio con las 3 biomásas de Pistia stratiotes a diferentes pH y en los 4 tiempos de residencia.*

TIEMPO DE RESIDENCIA	BIOMASA 1 (1 Kg) pH - 7.5	BIOMASA 2 (1.5 Kg) pH - 6.5	BIOMASA 3 (2 Kg) pH - 5.5
5 días	0.0045	0.0030	0.0038
10 días	0.0040	0.0018	0.0027
15 días	0.0037	0.0005	0.0015
20 días	0.0031	0.0001	0.0006

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados iniciales se obtuvieron a partir de los 3 tratamientos de *Pistia stratiotes*, posteriormente se multiplicaron por 500 que es la dilución de la muestra utilizada, obteniendo los siguientes resultados finales.

Tabla 04. Resultados finales al realizar la multiplicación por la dilución de la muestra utilizada de 500ml.

TIEMPO DE RESIDENCIA	BIOMASA 1 (1 Kg) pH - 7.5	BIOMASA 2 (1.5 Kg) pH - 6.5	BIOMASA 3 (2 Kg) pH - 5.5
5 días	2.25	1.50	1.90
10 días	2.00	0.90	1.35
15 días	1.85	0.25	0.75
20 días	1.55	0.05	0.30

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la Tabla 05, fueron obtenidos a partir de la multiplicación de los resultados iniciales por 500 de la dilución de la muestra. Con estos resultados se trabajaron para la absorción de cadmio en las tres biomosas, en los cuatro tiempos de residencia y a diferentes pH de *Pistia stratiotes*.

3.3. Determinación de pH y absorción de cadmio de la primera biomasa de *Pistia stratiotes* en los cuatro tiempos de residencia

Tabla 05. Determinación de pH del primer tratamiento en los 20 días de residencia de la *Pistia stratiotes*.

TIEMPO DE RESIDENCIA	B1 (1 Kg) de <i>Pistia stratiotes</i>
	pH
T0	7.50
T1 (5 días)	7.48
T2 (10 días)	7.47
T3 (15 días)	7.45
T4 (20 días)	7.43

Fuente: Elaboración propia

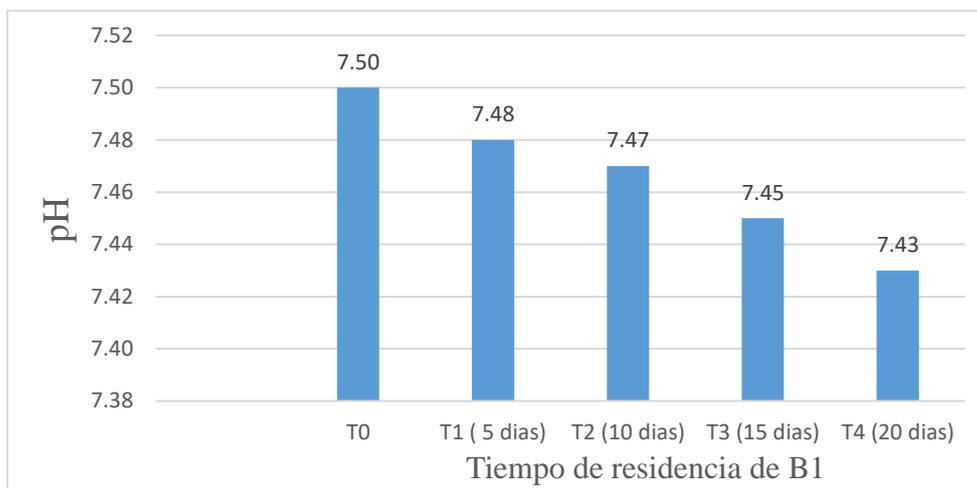


Figura 04. pH aplicado al primer tratamiento de *Pistia stratiotes* en un tiempo de residencia de 20 días.

En la Figura 04 se observa que la primera biomasa (1 kg), se trabajó a un pH inicial de 7.50, se vio una reducción de pH en los 4 tiempos de residencia de la macrófita. A los 20 días de finalizar el tratamiento, existió una reducción del pH inicial en 0.93 %.

Tabla 06. Determinación de absorción de cadmio del primer tratamiento en los 20 días de residencia de la *Pistia stratiotes*.

B1 (1 Kg) de <i>Pistia stratiotes</i>	
TIEMPO DE RESIDENCIA	Absorción de cadmio mg Cd/L
T0	2.63
T1 (5 días)	2.25
T2 (10 días)	2.00
T3 (15 días)	1.85
T4 (20 días)	1.55

Fuente: Elaboración propia.

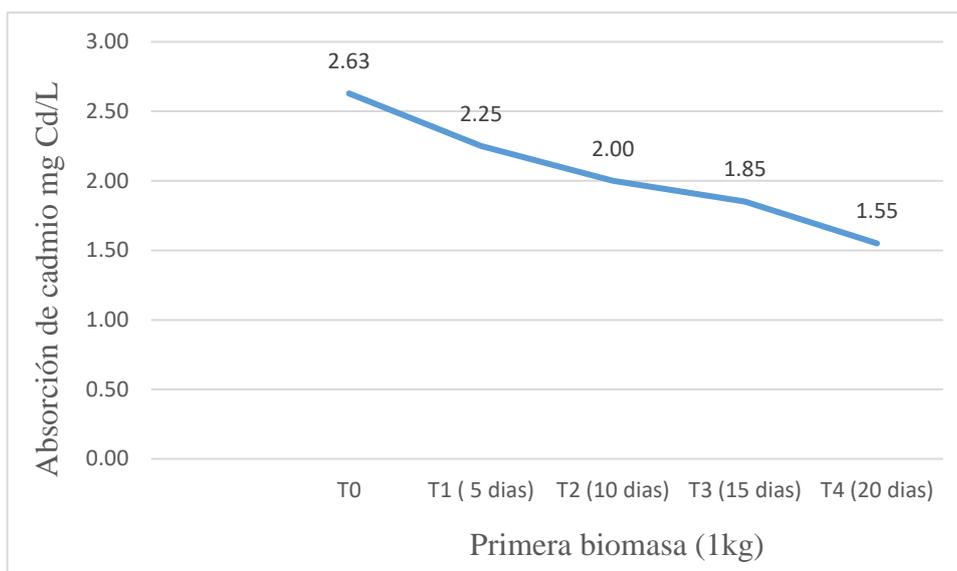


Figura 05. Absorción de cadmio en la primera biomasa en los 20 días de tratamiento.

En la Figura 05 se observa que la concentración inicial de cadmio es de 2.63 mg Cd/, se aplicó la primera biomasa de 1kg de *Pistia stratiotes* en 4 tiempos diferentes, fue a los 20 días donde se logró la mayor absorción de cadmio en un 1.55 mg Cd/L, representando el 41.06 % de absorción de la concentración inicial.

3.4. Determinación de pH y absorción de cadmio de la segunda biomasa de *Pistia stratiotes* en los cuatro tiempos de residencia

Tabla 07. Determinación de pH del segundo tratamiento en los 20 días de residencia de la *Pistia stratiotes*.

B2 (1.5 Kg) de <i>Pistia stratiotes</i>	
TIEMPO DE RESIDENCIA	pH
T0	6.50
T1 (5 días)	6.48
T2 (10 días)	6.45
T3 (15 días)	6.44
T4 (20 días)	6.42

Fuente: Elaboración propia.

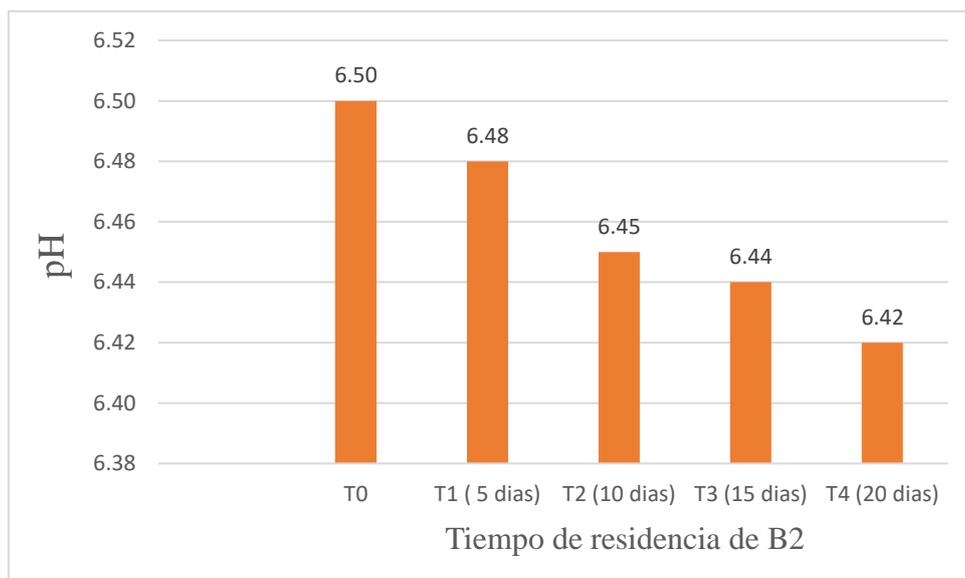


Figura 06. pH aplicado al segundo tratamiento de Pistia stratiotes en un tiempo de residencia de 20 días.

En la Figura 06 se observa que la segunda biomasa (1.5 kg), se trabajó a un pH inicial de 6.50, se vio una reducción de pH en los 4 tiempos de residencia de la macrófita. A los 20 días de finalizar el tratamiento existió una reducción del pH inicial en 1.20 %.

Tabla 08. Determinación de absorción de cadmio del segundo tratamiento en los 20 días de residencia de la Pistia stratiotes.

TIEMPO DE RESIDENCIA	B2 (1.5 Kg) de Pistia stratiotes
	Absorción de cadmio mg Cd/L
T0	2.63
T1 (5 días)	1.50
T2 (10 días)	0.90
T3 (15 días)	0.25
T4 (20 días)	0.05

Fuente: Elaboración propia.

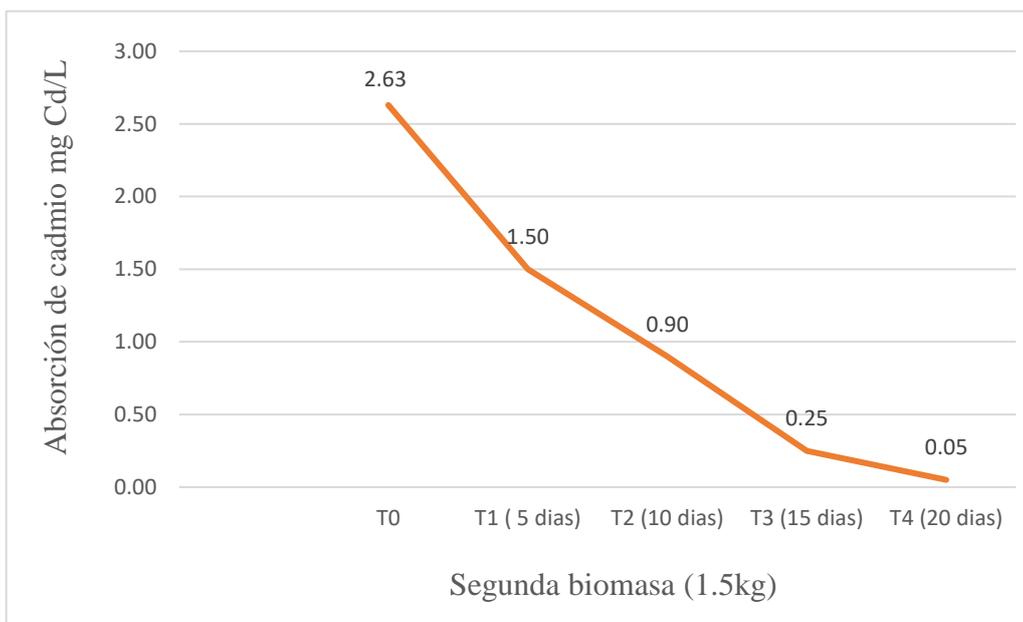


Figura 07. Absorción de cadmio en la segunda biomasa en los 20 días de tratamiento.

En la Figura 07 se observa que la concentración inicial de cadmio es de 2.63 mg Cd/, se aplicó la segunda biomasa de 1.5 kg de *Pistia stratiotes* en 4 tiempos diferentes, fue a los 20 días donde se logró la mayor absorción de cadmio en un 0.05 mg Cd/L, representando el 98.10 % de absorción de la concentración inicial.

3.5. Determinación de pH y absorción de cadmio de la tercera biomasa de *Pistia stratiotes* en los cuatro tiempos de residencia

Tabla 09. Determinación de pH del tercer tratamiento en los 20 días de residencia de la *Pistia stratiotes*.

B3 (2 Kg) de <i>Pistia stratiotes</i>	
TIEMPO DE RESIDENCIA	pH
T0	5.50
T1 (5 días)	5.49
T2 (10 días)	5.47
T3 (15 días)	5.46
T4 (20 días)	5.44

Fuente: Elaboración propia.

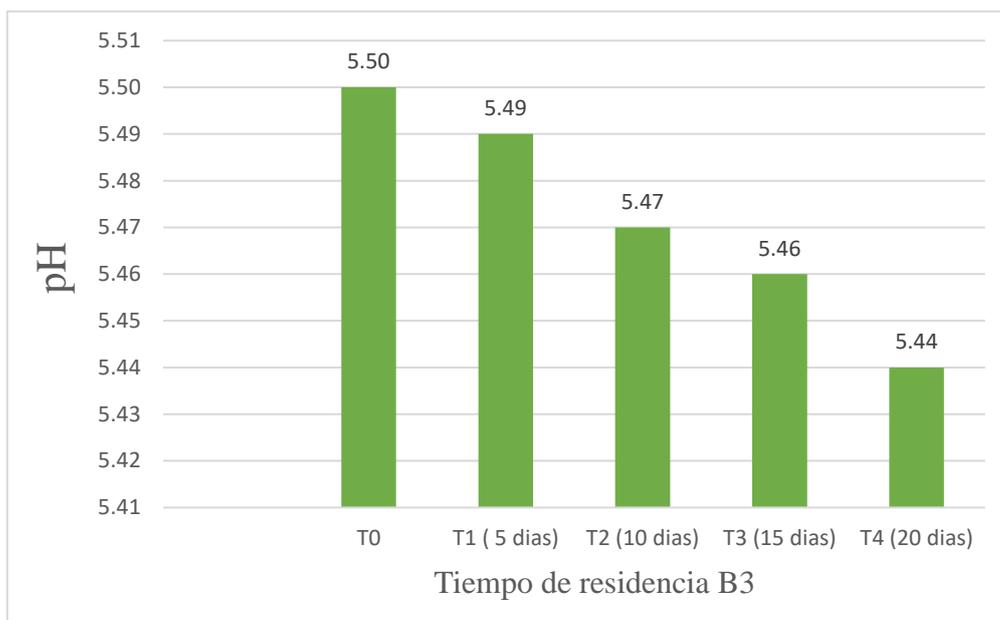


Figura 08. pH aplicado al tercer tratamiento de *Pistia stratiotes* en un tiempo de residencia de 20 días.

En la Figura 08 se observa que la tercera biomasa (2 kg), se trabajó a un pH inicial de 5.50, se vio una reducción de pH en los 4 tiempos de residencia de la macrófita. A los 20 días de finalizar el tratamiento, existió una reducción del pH inicial en 1.09 %.

Tabla 10. Determinación de absorción de cadmio del tercer tratamiento en los 20 días de residencia de la *Pistia stratiotes*.

B3 (2 Kg) de <i>Pistia stratiotes</i>	
TIEMPO DE RESIDENCIA	Absorción de cadmio mg Cd/L
T0	2.63
T1 (5 días)	1.90
T2 (10 días)	1.35
T3 (15 días)	0.75
T4 (20 días)	0.30

Fuente: Elaboración propia.

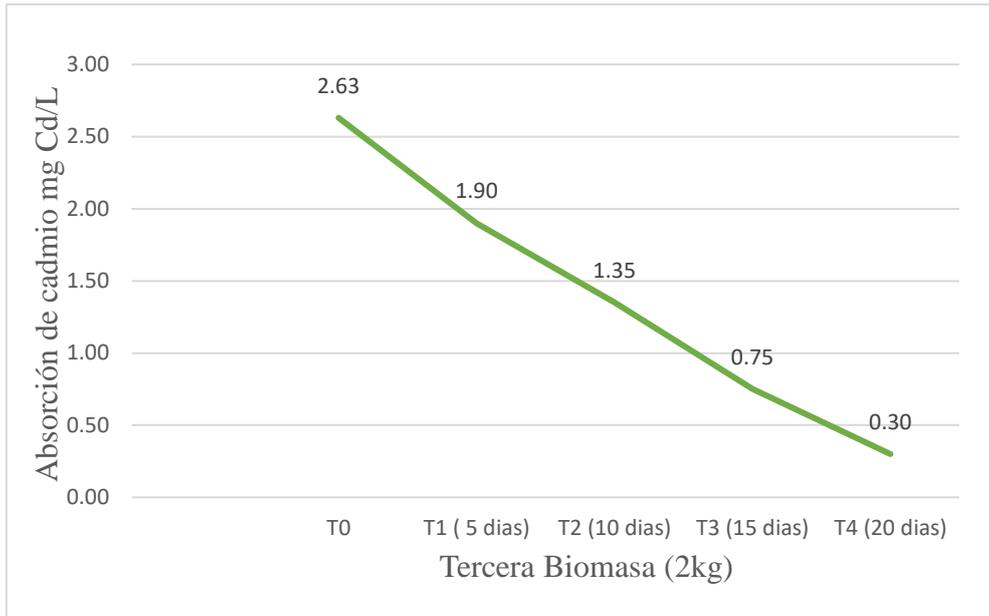


Figura 09. Absorción de cadmio en la tercera biomasa en los 20 días de tratamiento.

En la Figura 09 se observa que la concentración inicial de cadmio es de 2.63 mg Cd/, se aplicó la tercera biomasa de 2 kg de *Pistia stratiotes* en 4 tiempos diferentes, fue a los 20 días donde se logró la mayor absorción de cadmio en un 0.30 mg Cd/L, representando el 88.59 % de absorción de la concentración inicial.

3.6. Cálculos de absorción de cadmio en los cuatros tiempos de residencia por *Pistia stratiotes*

Método para determinar el porcentaje de absorción de cadmio.

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

Tabla 11. Determinación óptima del pH y tiempo de residencia de *Pistia stratiotes* para la mayor absorción de cadmio

TRATAMIENTO	Tiempo de residencia	pH	% de absorción de cadmio
T1 - B1		7.48	14.45 %
T1 - B2	5 días	6.48	42.96 %
T1 - B3		5.49	27.75 %
T2 - B1		7.47	23.95 %
T2 - B2	10 días	6.45	65.78 %
T2 - B3		5.47	48.67 %
T3 - B1		7.45	29.66 %
T3 - B2	15 días	6.44	90.49 %
T3 - B3		5.46	71.48 %
T4 - B1		7.43	41.06 %
T4 - B2	20 días	6.42	98.10 %
T4 - B3		5.44	88.59 %

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 10 se observa el porcentaje de absorción de las tres biomásas diferentes de *Pistia stratiotes* en los 20 días de residencia y en los pH trabajados por cada biomasa, donde la mayor absorción de cadmio se logró en la segunda biomasa a los 20 días y un pH de 6.42, teniendo como resultado el 98.10 % de absorción de cadmio.

3.7. Constrastación de hipótesis

A partir de los resultados obtenidos se acepta la hipótesis alternativa, porque el pH y el tiempo de residencia de la *Pistia stratiotes* influyen para lograr la mayor absorción de cadmio y se rechaza la hipótesis nula, porque el pH y tiempo de residencia de la *Pistia stratiotes* si influyen para lograr la mayor absorción de cadmio.

IV. DISCUSIÓN

El presente proyecto de investigación presenta la eficiencia de la *Pistia stratiotes* para lograr la mayor absorción de cadmio, determinado por el pH y el tiempo de residencia. Los resultados fueron diferentes en los cuatro tiempos de residencia de la especie, las tres biomásas y a los pH trabajados en cada biomasa. A través de las gráficas obtenidas se llega a observar y concluir que la segunda biomasa con un total de 1.5 kg de *Pistia stratiotes* a un pH de 6.42 y un tiempo de residencia de 20 días logró la mayor absorción del metal, siendo más eficiente que las otras biomásas, con un 98.10 % de absorción de cadmio, teniendo en cuenta estos resultados con los del proyecto de investigación de (Pozo, 2016) utilizando la macrófita *Pistia stratiotes* para la remoción de cadmio con un tiempo de 20 días, empleando el método de espectrometría de emisión atómica. Finalmente determina la capacidad fitorremediadora de la macrófita al remover un 67 % de cadmio.

El autor (Meza et al, 2013) utiliza la planta acuática *Pistia stratiotes* para bioabsorber diferentes muestras de plomo y cromo, a diferentes pH en un periodo de 15 días. En el plomo elaboró dosis de 5 mg/L y 4 mg/L a un pH de 6 y el cromo con dosis de 4 mg/L y 6 mg/L a un pH de 7, asimismo evaluando alcalinidad total, temperatura, oxígeno disuelto y la concentración de los metales. Empleó el método de espectrofotometría de absorción atómica, teniendo como resultado el 76.8 % y 81.3 % de absorción para plomo y para cromo una absorción del 81.1 % y 69.9 %. Se resalta que en mi proyecto se trabajó con tres pH diferentes para cada biomasa, siendo el pH 6.42 el más efectivo para lograr el 98.10 % de absorción de cadmio.

Basu, Kumar y Mukherjee (2003) utiliza a la macrófita lechuga de agua para reducir arsénico con un tiempo de tratamiento de 144 horas y una concentración inicial de 1 mg As/L, se empleó una biomasa de 20 g a un pH 7.0, logrando absorber un 82 %. Se realizó una prueba a un pH de 6.5 logrando absorber un 87.5 % de arsénico. En comparación a mi proyecto de investigación la mayor absorción a un pH de 6.5 se realizó en el primer tiempo de residencia de la especie *Pistia stratiotes*, llegando absorber un 42.9 % de cadmio, existe una diferencia significativa debido a la concentración inicial de 2.63 mg Cd/L. En conclusión, *Pistia stratiotes* es efectiva al absorber cadmio a un pH de 6.5.

V. CONCLUSIONES

1. Se realizó el análisis de concentración inicial de cadmio en el agua superficial del Río el Tingo, teniendo como resultado un 0.04 mg Cd/L, este resultado no superó los Límites Máximos Permisibles de 0.050 mg Cd/L, por lo cual se procedió a enriquecer la muestra, obteniendo un resultado de 2.63 mg Cd/L para posteriormente evaluar la capacidad fitorremediadora de la especie *Pistia stratiotes*.
2. Para determinar el pH más eficiente para la mayor absorción de cadmio se trabajó con 3 pH diferentes, de un 7.5, 6.5 y 5.5 con sus tres biomásas de pesos diferentes de 1 kg, 1.5 kg y 2 kg respectivamente, el pH óptimo de *Pistia stratiotes* fue de 6.42 el cual logró la mayor absorción de cadmio.
3. El tiempo de residencia óptimo de *Pistia stratiotes* fue de 20 días el cual logró la mayor absorción de cadmio con la segunda biomasa de 1.5 kg.
4. Se determina que la segunda biomasa de 1.5 kg de *Pistia stratiotes* a un pH de 6.42 y un tiempo de residencia de 20 días es la más eficiente para lograr la mayor absorción de cadmio de 2.63 mg Cd/L inicial a un 0.05 mg Cd/L final, obteniendo un 98.10 % de absorción.
5. La mayor absorción de cadmio en aguas superficiales se logró a los 20 días de residencia y un pH de 6.42 de la macrófita, logrando una reducción de 0.05 mg Cd/L, representando el 98.10 % de absorción del metal.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los gobernantes de la provincia de Hualgayoc a realizar los estudios respectivos en el Río el Tingo en cuanto a metales pesados, los cuales provienen de la actividad minera, ya que causan daños en la salud de los seres vivos y contaminación de los cuerpos de agua superficial.
2. A través del estudio realizado a la especie *Pistia stratiotes* se confirma su eficiencia en la absorción de cadmio, la cual puede ser empleada para cuerpos de agua contaminada por este metal, procedente de actividades mineras e industriales.
3. Mediante el proyecto investigado se recomienda efectuar estudios para la absorción de otros metales, como es el caso del mercurio, cobre, cinc y entre otros con la finalidad de comprobar la capacidad y eficiencia fitorremediadora de la macrófita *Pistia stratiotes*.
4. En cuanto al tratamiento de aguas superficiales contaminadas por metales, se recomienda un adecuado manejo y una evaluación permanente de la especie *Pistia stratiotes*, debido a su tiempo límite de residencia y saturación.
5. Al cumplir su tiempo de saturación se recomienda trasladar las biomásas de *Pistia stratiotes* a un relleno de seguridad, las cuales contienen cadmio en sus diferentes partes, anterior al traslado se recomienda secar las biomásas.
6. Para una investigación profunda y completa de la especie se recomienda evaluar las diferentes partes de la planta para determinar la concentración del cadmio en las raíces, hojas y tallo.
7. Para una mayor absorción del metal se recomienda trabajar a un pH de 6.5 y con una mayor cantidad de biomasa de la macrófita, para evitar cualquier daño a la planta y tener un mayor tiempo de residencia.

REFERENCIAS

AGUAYO, Carolina. Determinación de la acumulación de los metales pesados plomo, cadmio y cromo en la planta Pistia stratiotes conocida como lechuga de agua. Tesis (Título en Química Farmacéutica). Colombia: Universidad de Icesi, Cali, 2015. Disponible en: https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bits_tream/10906/78790/1/TG01084.pdf

AGUDELO, Lina, MACÍAS, Karina y SUÁREZ, Alfredo. Phytoremediation as an alternative to absorb heavy metals from biosolids. *Revista Lasallista de Investigación* [en línea]. 2005, 2(1): 57-60 [fecha de Consulta 10 de noviembre de 2019].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520110>.

ISSN: 1794-4449.

ALI, Hazrat, KHAN, Ezzat y ANWAR, Muhammad. Phytoremediation of heavy metals- Concepts and applications. *Revista Chemosphere Environmental Chemistry* [en línea]. 2013. p.869-881 [fecha de Consulta 20 de mayo de 2019].

Disponible en: [10.1016/j.chemosphere.2013.01.075](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075).

ISSN: 0045-6535.

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

ISBN: 0875532071

ANDRADE, Cristian. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Eichhornia crassipes Mart. (Jacinto de agua), Pistia Stratiotes L. (Lechuga de agua) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis (Título de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente.). Ecuador: Universidad Nacional de Loja, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Loja, 2015. Disponible en <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11868/1/Kelvin%20Cristian%20Andrade%20Jim%C3%A9nez.pdf>

AUTORIDAD Nacional del Agua. 2013. Ministerio de Agricultura y Riego. [en línea]. [Citado el: 17 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://www.ana.gob.pe/noticia/ana-confirma-que-cuenca-chancay-lambayeque-esta-afectada-principalmente-por-desagues>

AUTORIDAD Nacional del Agua. 2018. Ministerio de Agricultura y Riego. [en línea] [Citado el: 2019 de Abril de 14.] <https://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-056-2018-ana>.

AURANGZBEN, N, NISA, S, BIBI, Y, JAVED, F y HUSSAIN, F. Phytoremediation potential of aquatic herbs from steel foundry effluent. *Revista Brazilian Journal of Chemical Engineering* [en línea]. 2014.vol. 31 n.4. pp.881. [Date of consultation: 20 of april of 2019]. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/bjce/v31n4/06.pdf>.

ISSN: 0104-6632.

BASU, A, KUMAR, S, y MUKHERJEE, S. Arsenic reduction from aqueous environment by water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). *Revista Indian J Environ Health* [en línea]. 2003. vol. 45. n.2. pp.143-50.

Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15270347/>

BENAVIDES, Maria, GALLEGO, Susana y TOMARO, Maria 2005. Cadmium toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.* [online]. 2005.vol.17. n.1. pp. 21-34 [cited: 10 of june of 2019]. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04202005000100003&lng=en&nrm=iso>.

ISSN: 1677-9452.

BIOABSORPTION of Pb (II) and Cr (III) using the aquatic plant *Pistia stratioides*. Meza M. [et al.]. : *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 28 (3):49-58, 2013.

Disponible en : <https://www.researchgate.net/publication/264310484>

BONILLA, María. Estudio para Tratamientos de Biorremediación de Suelos Contaminados con Plomo, utilizando el Método de Fitorremediación. Tesis (Título en Ingeniería Ambiental). Ecuador: Universidad de Quito, Pichincha, 2013. pp. 95.

CLEMENS, S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie* [en línea]. 2006.vol.88. n.11. pp. 1707-1719.

DOI: 10.1016/j.biochi.2006.07.003

DELGADILLO, Angélica, ABELARDO, César, PRIETO, Francisco, VILLAGÓMEZ José y ACEVEDO Otilio. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Trop. subtrop. agroecosyt* [online].14 (2): 597-612, 2011. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&nrm=iso>.

ISSN: 1870-0462

DUARTE, María, SUÑÉ, Noemí y MAINE, María. Cadmium uptake by floating macrophytes. *Water research* [en línea].2001.vol.35. n.11. pp. 2629–2634.

DOI: 10.1016/s0043-1354(00)00557-1

DUSHENKOV, V. y RASKIN, I. Phytoremediation: Green revolution in Ecology. *Chemistry and Life*. (11-12): 48-49, 1999. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/260289397_Phytoremediation_a_new_green_revolution_in_ecology

EFFECTS of adding nitroprusside on arsenic stressed response of *Pistia stratiotes* L. under hydroponic conditions. Farnese F. [et al]. 2014. *Revista Internacional de Fitorremediación*, vol.16. n.2. pp.123-137.

DOI: 10.1080/15226514.2012.759532.

FLORES Y PLANTAS. *Revista de Flores y plantas*. 2017 [fecha de consulta: 15 de abril de 2019]. Disponible en <https://www.floresyplantas.net/plantas-macrofitas/>.

GRUFIDES. Minam declaró emergencia ambiental en Hualgayoc-Bambamarca por presencia de casi mil pasivos mineros. 2016. [En línea]. 27 de Junio de 2016. [Citado el: 15 de Noviembre de 2019.] <http://grufides.org/blog/minam-declar-emergencia-ambiental-en-hualgayoc-bambamarca-por-presencia-de-casi-mil-pasivos>.

GOYZUETA, Gilmar y TRIGOS, Ciria. Riesgos de salud pública en el centro poblado minero artesanal La Rinconada (5200 msnm) en Puno, Perú. *Rev. perú. med. exp. salud publica* [online]. 26 (1): 41-44, 2009. [citado 2019-07-08].

Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342009000100008&lng=es&nrm=iso>.

ISSN: 1726-4634.

HAZRAT, A, EZZAT, K, y MUHAMMAD, A. Phytoremediation of heavy metal. Concepts and applications. *ELSERVIER*, 91(7): 870-878, 2013.

DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.01.075

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

JARAMILLO, César. y TABORDA, Gonzalo. La fotocatalisis: Aspectos fundamentales para una buena remoción de contaminantes. *Revista Universidad de Caldas*, 26 (1-2): 71-88, 2006.

ISSN: 0120-1492

MAINE, María, SUÑÉ, Noemí y LAGGER, Susana. Chromium bioaccumulation: comparison of the capacity of two floating aquatic macrophytes. *Water Research*, 38 (6): 1494-1501, 2004.

DOI: 10.1016/j.watres.2003.12.025.

MADEDDU, Roberto. Estudio de la influencia del cadmio sobre el medioambiente y el organismo humano: perspectivas experimentales, epidemiológicas y morfofuncionales en el hombre y en los animales de experimentación. Tesis (Doctorado en Medicina y Cirugía). Universidad de Granada, 2005.

Disponible en: <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/728/1/15518231.pdf>

MARTELO, Jorge y LARA, Jaime. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado de arte. Artículo, *Ingeniería y Ciencia*, 2012.

Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n15/v8n15a11.pdf>

NAVARRO, Juan. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Revista de Ecosistemas*, 16 (2):10-25, 2007.

ISSN: 1132-6344

NÚÑEZ, Roberto, MEAS, Yunny, ORTEGA, Raúl y OLGUÍN, Eugenia. FITORREMEDIACIÓN: fundamentos y aplicaciones. *Revista de Ciencia*, julio-septiembre, 2004. pp. 69-83.

Disponible en:

https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf

ODJEGBA, V y FASIDI, I. Accumulation of trace elements by *Pistia stratiotes*: implications for phytoremediation. *Ecotoxicology*, 13 (7):637-646, 2004.

DOI:10.1007/s10646-003-4424-1

ORGANISMO de Evaluación y Fiscalización Ambiental.(OEFA). Ordena a Compañía Minera San Nicolás S.A. detener la descarga de aguas provenientes de su proceso minero. Cajamarca. 2016. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/oefa/noticias/20583-el-oefa-ordena-a-compania-minera-san-nicolas-s-a-detener-la-descarga-de-aguas-provenientes-de-su-proceso-minero-que-no-han-sido-debidamente-tratadas-y-que-estan-afectando-al-rio-tingo-en-cajamarca>

ORGANIZACIÓN Mundial de Salud.(OMS). Guías para la calidad de agua. Suiza. 2003. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>

PANKIT, Anand y BHAVE, Sheila. Copper metabolic defects and liver disease: Environmental aspects. *Gastroenterology and Hepatology*,17(3): 403-407, 2002.
DOI: 10.1046/j.1440-1746.17. s3.35.x

PARIS, C., HADAD, R., MAINE, M. y SUÑE, N. Eficiencia de dos macrófitas flotantes libres en la absorción de metales pesados por. *Limnetica*, 24 (3-4): 237-244, 2005.
ISSN: 0213-8409

PEHLIVAN, Erol, OZKAN, Ali, DINÇ, Salih y Parlayici, Serife. Adsorption of Cu²⁺ and Pb²⁺ ion on dolomite powder por Erol Pehlivan Erol [et al]. *Journal of Hazardous Materials*, 167 (1-3): 1044-1049, 2009.
DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.01.096

PÉREZ,Perla y AZCONA María. Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 17 (3): 199-205, 2012.
ISSN: 1665-7330

PERNÍA, Beatriz, DE SOUSA, Andrea, REYES, Rosa y CASTRILLO, Marisol. BIOMARCADORES de contaminación por cadmio en las plantas. *Inci*, 33 (2): 112-119.
ISSN: 0378-1844

POZO, Diego. Eficiencia de las plantas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* para la remoción de cadmio de las aguas del río Surco, 2016. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2016. Disponible en http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/4257/Pozo_YDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

RAMÍREZ, Augusto. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina* [en línea]. 63 (1) , 2002. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2019]. pp. 51-64.

DOI: <https://doi.org/10.15381/anales.v63i1.1477>

REN, Xuemei. 2011. Carbon nanotubes as adsorbents in environmental pollution management. *Chemical Engineering Journal*, 170 (2-3): 395-410.

DOI: 10.1016/j.cej.2010.08.045

REEVES, R. Tropical hyperaccumulators of metals and their potential for phytoextraction. *Plant and Soil*, 249 (1): 57-65, 2003.

DOI: 10.1023/A:1022572517197

RODRÍGUEZ, María, MARTÍNEZ, Nieves, ROMERO, María, Río, Luis y SANDALIO, Luisa. Toxicidad del cadmio en plantas por María Rodríguez [et al]. *Ecosistemas*, 17 (3): 139-146, 2008.

ISSN 1697-2473

RODRÍGUEZ, R y PALMA, J. Valor nutritivo del repollito de agua (*Pistia stratiotes*) y su posible uso en la alimentación animal. *Revista Zootecnia Tropical*, 18 (2): 213-226, 2000.

ISSN: 0798-7269

SÁNCHEZ, Clara. Perfil sociodemográfico y epidemiológico de la población expuesta a la contaminación por mercurio, plomo y cadmio. *Investigación en Enfermería*, 12 (2): 93-116, 2010.

ISSN: 0124-2059

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

ISBN: 978-607-8246-61-8

SKOOG, Douglas y HOLLER, James. Principle of Instrumental Analysis [en línea]. 6.^a ed. México: Cengage Learning, Inc., 2008 [fecha de consulta: 15 de setiembre 2019]. Disponible en: https://www.academia.edu/37326567/Principios_de_an%C3%A1lisis_instrumental_6ta_Edici%C3%B3n_Douglas_A_Skoog_LIBROSVIRTUAL.

ISBN:0-495-01201-7

THOMINE, S., WANG, R., WARD, J., CRAWFORD, N. y SCHROEDER, J. Cadmium and iron transport by members of a plant metal transporter family in Arabidopsis with homology to Nramp genes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97 (9): 4991-4996, 2000.

DOI: 10.1073/pnas.97.9.4991

TORRES, Guillermo, NAVARRO, Abel, LANGUASCO, Jaime, CAMPOS, Karol y CUIZANO, Norma. Estudio preliminar de la fitorremediación de cobre divalente mediante *Pistia stratiotes* (Lechuga de agua). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. Lima, 3(1):20-13, 2007.

ISSN: 1870-0667

TRIOATHI, P., KUMAR, R. y GUPTA, R. *Pistia stratiotes* es una planta con Propiedades Terapéuticas y Preventivas [en línea]. 4 (8) : 153-160, 2010, [fecha de consulta: 18de Junio de 2019]. Disponible en <http://www.bago.com/BagoArg/Biblio/farmaweb343.ht>

VISA, María y CHELARU, Andreea. Hydrothermally modified fly ash for heavy metals and dyes removal. *Applied Surface Science*, 303. pp.14-22, 2014.

DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.02.025

WATT, M, y EVANS, J. Proteoid Roots. *Physiology and Development*. En American Society of Plant Physiologists [en línea]. 121 (2): 317-323, 1999.

DOI: 10.1104/pp.121.2.317

ANEXOS

Anexo 01: Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ÍNDICE
VI: pH y tiempo de residencia	Flores y plantas (2017) <i>Pistia stratiotes</i> es una macrófita flotante sobre la superficie del agua mientras sus raíces cuelgan sumergidas debajo de sus hojas, tiene la capacidad de absorber, retener y extraer metales. Su rango de pH del agua está entre 5,5 y 7,5 y el tiempo de residencia va a depender del pH y concentración del metal.	Se elaborarán tres estanques conteniendo agua superficial contaminada con cadmio; se aplicará tres biomásas de 1 kg, 1.5 kg y 2 kg de <i>Pistia stratiotes</i> para determinar la mayor absorción de cadmio a pH de 7.5, 6.5 y 5.5 respectivamente y tiempos de residencia de 5, 10, 15 y 20 días.	pH Tiempo de residencia	Adimensional 5, 10, 15 y 20 días.
VD: Absorción de cadmio	Ramírez (2002) El cadmio es un metal pesado, producto del tratamiento metalúrgico del zinc y del plomo, la absorción se realizará a través de la raíz y las hojas de <i>Pistia stratiotes</i> , la mayor absorción dependerá del tiempo de residencia y pH.	El agua superficial con cadmio se analizará con el método de espectrofotometría de absorción atómica, para determinar la actual concentración del cadmio en el agua. Se realizarán análisis de tres muestras cada cinco días para los cuatro tiempos de residencia.	Concentración de cadmio	mg Cd/L

Fuente: Elaboración propia

Anexo 02: Resultado de la concentración inicial de cadmio, analizado por el de laboratorio SEDALIB S.A.



INFORME DE ENSAYO

IE011190107

Identificación del Cliente			
Cliente:	LEONARDO MARTÍN AURAZO MENDOZA	Dirección:	PROLONGACIÓN QUIÑONES 056-CHICLAYO
Ensayo solicitado por:	LEONARDO MARTÍN AURAZO MENDOZA	email:	leito21_2@hotmail.com
Teléfonos:	979450631	Fax:	-

Identificación de la Muestra	
Dirección del Punto de muestreo o procedencia:	MUESTRA AGUA FORTIFICADA CON CADMIO - DISTRITO DE PIMENTEL - PROVINCIA DE CHICLAYO - DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE
Tipo de muestra:	SIMPLE Condiciones de almacenamiento y transporte de la muestra:
Tipo de toma de muestra;	MANUAL LAS MUESTRAS DEBEN SER REFRIGERADAS A UNA TEMPERATURA DE $\leq 6^{\circ}\text{C}$. PARA CADMIO, DEBEN SER PRESERVADAS CON HNO_3 A $\text{pH} < 2$.
Responsable del muestreo:	LEONARDO MARTÍN AURAZO MENDOZA (CLIENTE EXTERNO)

Identificación de la Muestra por el Laboratorio					
Recepción de la muestra:	14 DE NOVIEMBRE DEL 2019	Inicio de Análisis:	14	NOVIEMBRE	2019
Responsable de la recepción:	YESENIA CASTELLANOS GARCIA	Fin de Análisis:	15	NOVIEMBRE	2019
Número de Orden de Trabajo:	OT01119118	Emisión del Informe:	19	NOVIEMBRE	2019
Tipo de ensayos realizados:	FISICOQUIMICO	Condición ambiental del ensayo:	Temp.	24.8	$^{\circ}\text{C}$
			Hume.rel.	51	%
Descripción del estado de la muestra a la recepción en LCC: LA MUESTRA LLEGÓ EN UN FRASCO PLASTICO DE 1 L. REFRIGERADA PRESERVADA A UN $\text{pH}=1.5$					

Objeto de petición de los ensayos	
Tipo de Ensayo	Norma de Referencia
CADMIO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3111 B, 23rd Ed. 2017 Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method



INFORME DE ENSAYO

IE011190107

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYOS FISICOQUÍMICOS:

Código Cliente	Muestra Inicial		
Código Laboratorio	01119118.001		
Tipo de Matriz	AGUA DE PROCESO		
Descripción	MUESTRA DE AGUA CONTAMINADA LAB (UCV-CHICLAYO)		
Fecha de muestreo	13/11/2019		
Hora de muestreo	13:38		
Temperatura de muestreo (°C)	Ambiental	-	
	Agua	-	
Ensayo de Laboratorio	Unidad	LDM	Resultados
CADMIO	mg Cd/L	0.0010	2.6287

LDM: Límite de Detección del Método

OBSERVACIONES

- * El resultado indicado en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo por el LCC - SEDALIB S.A., no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- * La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del LCC - SEDALIB S.A., su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- * Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas, cualquier reclamo u objeción, que deseara efectuar el solicitante, respecto al documento, se deberá ejercer en un plazo máximo de 30 días posterior a la emisión del informe.
- * La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- * El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- * Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- * Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en el LCC - SEDALIB S.A., durante el tiempo indicado de preservación del parámetro a analizar, hasta un periodo máximo de 30 días posterior a la emisión del informe de ensayo, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.



Armando Araujo Jimenez
DIRECTOR DEL LABORATORIO
LCC SEDALIB S.A.

Director del LCC-SEDALIB S.A.

Av. Federico Villarreal N° 1300 - Urb. Semi Rústica El Bosque - Trujillo
Telf.: 044-482351 - 044-482335 / Ext. 317
aaraujo@sedalib.com.pe - ycastellanos@sedalib.com.pe

Página: 2 de 2

Anexo 03. Resultados de los análisis de las 12 muestras después de haber finalizado los cuatro tiempos de residencia de la macrófita, otorgados por el laboratorio de EPSEL S.A.



Chiclayo, 09 de Diciembre del 2019

CARTAN° 108 -2019 –EPSEL S.A.- GG

SR. LEONARDO MARTÍN AURAZO MENDOZA

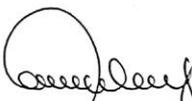
Prolongación Bolognesi N° 056
Chiclayo.-

ASUNTO : Resultados Análisis de Muestra de Agua de Pozo
REFERENCIA : Carta S/N de fecha 09.10.19 (13226-616980)

Es grato dirigirme a usted, para saludarlo cordialmente y al mismo tiempo comunicarle que adjunto al presente hago llegar los resultados de los ensayos análisis físico químico de doce (12) muestras de agua del Río Tingo – Hualgayoc – Cajamarca.

Sin otro particular, es propicia la ocasión para reiterarle los sentimientos de mi mayor consideración.

Atentamente.


BLGO. LORENZO BOCANEGRA CAMPOS
(Jefe Oficina Control de Calidad)



EPSEL S.A.

OFICINAS: Av. Carlos Castañeda Iparraguirre N° 100 - Av. Sáenz Peña N° 1860 (Planta de Agua Potable) Chiclayo
Telf.: 252291 (Central de Telefónica) - 253479 (G.G.) - Gerencia Operacional Telf.: 254132
Gerencia Comercial - Av. Miguel Grau N° 451 - Telf.: 273609 (G.C.) - 235751 (Central Telefónica)
Emergencias: Telf.: 238363 - 326747 - 0-800-27092
Pág. Web: www.epsel.com.pe



**EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.**

**" TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE
LA MEJOR CALIDAD, CUIDELA NO LA DESPERDICIE "**

EPSEL S.A.
GERENCIA GENERAL
OFICINA CONTROL DE CALIDAD

RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS QUÍMICOS

**ABSORCIÓN DE CADMIO POR ACCIÓN DE LAS 3 BIOMASAS DE
PISTIA STRATIOTES**

TIEMPO DE RESIDENCIA	T1 BIOMASA 1 (1 Kg) pH - 7.5	T2 BIOMASA 2 (1.5Kg) pH - 6.5	T3 BIOMASA 3 (2Kg) pH - 5.5
5 días	0.0045	0.0030	0.0038
10 días	0.0040	0.0018	0.0027
15 días	0.0037	0.0005	0.0015
20 días	0.0031	0.0001	0.0006

OBSERVACIÓN: Las muestras fueron colectadas por personal interesado.



OFICINAS A: Carlos Castañeda Iparraguirre N° 100 - Av. Saenz Peña N° 1600 (Planta de Agua Potable) Chiclayo
Tel: 252291 (Central Telefónica) - 253479 (G.G.) - Gerencia Operacional Teléf. 254132
Gerencia Comercial - Av. Miguel Grau N° 451 - Teléf. 273009 (G.G.) - 235751 (Central Telefónica)
Emergencias Teléf. 238303 - 326747 - 0-800-27092
Pag. Web: www.epsel.com.pe

Anexo 04. Resultados de los análisis fisicoquímicos (pH) de la muestra inicial y de las 12 muestras tratadas con las 3 biomásas y en los cuatro tiempos de residencia de la macrófita, otorgador por el laboratorio de la Universidad César Vallejo.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA

TIPO DE ANÁLISIS : Físicoquímico
 USUARIO : Aurazo Mendoza Leonardo Martín
 PROYECTO : Determinación del pH y tiempo de residencia de la *Pistia stratiotes* para la mayor absorción de cadmio en aguas superficiales.
 FECHA DE EMISIÓN : 12 de diciembre del 2019

MUESTRA INICIAL	pH
Agua del río Tingo	2.93

Biomásas	Tiempo de residencia	pH	Equipo
B1	5 días	7.48	Conductímetro de mesa-HANNA
B2		6.48	Conductímetro de mesa-HANNA
B3		5.49	Conductímetro de mesa-HANNA
B1	10 días	7.47	Conductímetro de mesa-HANNA
B2		6.45	Conductímetro de mesa-HANNA
B3		5.47	Conductímetro de mesa-HANNA
B1	15 días	7.45	Conductímetro de mesa-HANNA
B2		6.44	Conductímetro de mesa-HANNA
B3		5.46	Conductímetro de mesa-HANNA
B1	20 días	7.43	Conductímetro de mesa-HANNA
B2		6.42	Conductímetro de mesa-HANNA
B3		5.44	Conductímetro de mesa-HANNA

UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO


 Ing. Diana Karolina Quiroz Incio
 Laboratorio de biotecnología y microbiología

CAMPUS CHICLAYO
 Carretera Chiclayo Pimentel Km. 3.5
 Telf.: (074) 481616 / Anexo: 6514

fb/ucv_peru
 @ucv_peru
 #saliradelante
 ucv.edu.pe

Anexo 05. Inventario de fotos del proyecto de investigación



Recolección de muestras de aguas del Río El Tingo – Hualgayoc.



Recolección de la especie *Pistia Stratiotes* en el dren Lambayeque.



Ubicación del agua superficial y de las macrófitas *Pistia stratiotes* en sus respectivos acuarios.



Seguimiento al tratamiento de aguas por acción de *Pistia stratiotes*.



Análisis de pH a los tres tratamientos.



Colocación del ácido nítrico al 65% para conservar y analizar las muestras.



Al finalizar el tratamiento, se observó necrosis foliar en los tres tratamientos en las hojas de la macrófita.