UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

EFICIENCIA DE FITORREMEDIACIÓN CON JACINTO DE AGUA (*Eichhornia Crassipes*) PARA DISMINUIR CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DEL DISTRITO DE SAN JOSÉ DEL ALTO, PROVINCIA DE JAÉN – CAJAMARCA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

Línea de investigación:
Innovación tecnológica para el desempeño y competitividad para la calidad ambiental.

Autor: Bach. Oblitas Martínez Edgar Eduardo

Asesor: PhD. Wilfredo Ruiz Camacho

JAÉN – PERÚ, SEPTIEMBRE, 2023

NOMBRE DEL TRABAJO

EFICIENCIA DE FITORREMEDIACIÓN CO N JACINTO DE AGUA (Eichhornia Crassi pes) PARA DISMINUIR CONCENTRACI

AUTOR

Edgar Eduardo Oblitas Martínez

RECUENTO DE PALABRAS

8078 Words

RECUENTO DE CARACTERES

46758 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

48 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.9MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 18, 2023 8:52 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 18, 2023 8:53 AM GMT-5

13% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Christiaan Zayad Apaza Panca

RESPONSABLE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 20 de septiembre del año 2023, siendo las 15:00 horas, se reunieron de manera presencial los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. Alexander Huamán Mera
Secretaria : Mg. Candy Lisbeth Ocaña Zúñiga
Vocal : Dr. José Celso Paredes Carranza

Para evaluar la Sustentación del **Informe Final** de:

( ) Trabajo de Investigación
(X) Tesis
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: ***"EFICIENCIA DE FITORREMEDIACIÓN CON JACINTO DE AGUA (Eichhornia Crassipes) PARA DISMINUIR CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DEL DISTRITO DE SAN JOSÉ DEL ALTO, PROVINCIA DE JAÉN – CAJAMARCA"***, *presentado* por el bachiller: Edgar Eduardo Oblitas Martínez, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar ( ) Desaprobar (X) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

a)	Excelente	18, 19, 20	( )
b)	Muy bueno	16, 17	( )
c)	Bueno	14, 15	(15)
d)	Regular	13	( )
e)	Desaprobado	12 ò menos	( )

Siendo las 16:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Dr. Alexander Huamán Mera
Presidente

Mg. Candy Lisbeth Ocaña Zúñiga
Secretaria

Dr. José Celso Paredes Carranza
Vocal

ÍNDICE

RESUMEN 7

ABSTRACT 8

I. INTRODUCCIÓN 9

II. MATERIALES Y MÉTODOS 12

2.1. Instrumentos 12

2.2. Población, muestra y muestreo 13

2.3. Métodos y técnicas de investigación 15

2.4. Procedimiento de recolección de datos 17

III. RESULTADOS 20

3.1. Caracterización de los parámetros físicos y las concentraciones de metales pesados de las aguas residuales municipales del distrito de San José del Alto. 20

3.2. Evaluación del crecimiento poblacional del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) 22

3.3. Contraste de las concentraciones de metales pesados antes y después del tratamiento de fitorremediación con Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) 23

IV. DISCUSIÓN 25

V. CONCLUCIONES Y RECOMENDACIONES 27

5.1. Conclusiones 27

5.2. Recomendaciones 28

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 29

AGRADECIMIENTO 34

DEDICATORIA 35

ANEXOS 36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Número y tiempo de muestras.*..... 13

Tabla 2. *Parámetros para riego de vegetales de tallo Bajo y tallo Alto.* 15

Tabla 3. *Georreferenciación del punto del muestreo* 17

Tabla 4. *Concentraciones de parámetros físicos del primer muestreo* 20

Tabla 5. *Concentraciones de metales pesados del primer muestreo* 21

Tabla 6. *Concentraciones de metales pesados del segundo muestreo* 21

Tabla 7. *Crecimiento poblacional del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)* 22

Tabla 8. *Comparación de las concentraciones obtenidas del primer y segundo muestreo*..... 23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Crecimiento poblacional del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)* 22

Figura 2. *Comportamiento de las concentraciones de metales pesados del primer y segundo muestreo* 24

Figura 3. *Disposición final de aguas residuales municipales del distrito San José del Alto*..... 36

Figura 4. *Traslado del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)* 37

Figura 5. *Inserción del Jacinto de agua en los recipientes con aguas residuales municipales* 37

Figura 6. *Sistema radicular del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)* 38

Figura 7. *Recepción de M1 del primer muestreo en el (LABISAG)* 39

Figura 8. *Recepción de M2 del segundo muestreo en el (LABISAG)* 39

Figura 9. *Área de cultivo donde se reutilizó el agua residual municipa*l……39

Figura 10. *Cadena custodia de análisis de metales pesados (primer muestreo)* 40

Figura 11. *Cadena custodia de análisis de metales pesados (segundo muestreo)*..... 41

RESUMEN

El vertimiento de aguas residuales sin tratamiento a tierras agrícolas, se vuelve un panorama común en zonas rurales del país, motivo por el cual es necesario un tratamiento a fin de reducir la carga contaminante de estas aguas, empleando nuevas tecnologías que sean económicamente aprovechables. La presente investigación se realizó en el distrito San José del Alto, Jaén – Cajamarca, con el objetivo evaluar la eficiencia de fitorremediación del *Eichhornia crassipes* para disminuir las concentraciones de metales pesados (Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo, Zinc) en aguas residuales municipales; para ello se realizaron dos muestreos, el primero para caracterizar el efluente tratado y el segundo 21 días después de aplicar *Eichhornia crassipes* como sistema fitorremediador, a fin de identificar las diferencias de concentraciones antes y después del tratamiento. Los resultados indican que el Jacinto de agua es capaz de remover de Cadmio en un 86.67%, Cobre 59.38%, Mercurio 95.01%, Plomo 84.87% y Zinc en 92.08%, además de presentar un 90% de crecimiento poblacional; concluyendo que el Jacinto de agua es eficiente para disminuir las concentraciones de metales pesados presentes en las aguas residuales de la localidad, siendo esta una alternativa sustentable frente a la contaminación ambiental.

Palabras clave: *Eichhornia crassipes, remoción, macrófitas, parámetros.*

ABSTRACT

The dumping of untreated wastewater onto agricultural land becomes a common scenario in rural areas of the country, which is why treatment is necessary in order to reduce the polluting load of these waters, using new technologies that are economically profitable. The present investigation was carried out in the San José del Alto district, Jaén - Cajamarca, with the objective of evaluating the efficiency of phytoremediation of *Eichhornia crassipes* to reduce the concentrations of heavy metals (Cadmium, Copper, Mercury, Lead, Zinc) in municipal wastewater; for this, two samplings were carried out, the first to characterize the treated effluent and the second 21 days after applying *Eichhornia crassipes* as a phytoremediation system, in order to identify the differences in concentrations before and after treatment. The results indicate that the water hyacinth is capable of removing 86.67% Cadmium, 59.38% Copper, 95.01% Mercury, 84.87% Lead and 92.08% Zinc, in addition to presenting 90% population growth; concluding that the water hyacinth of water is efficient to reduce the concentrations of heavy metals present in the wastewater of the locality, this being a sustainable alternative to environmental pollution.

Key words: *Eichhornia crassipes, removal, macrophytes, parameters.*

I. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, con el fin de eliminar los contaminantes presentes en el efluente. (Reyes, 2020); sin embargo, es necesario una caracterización previa del agua residual, con la finalidad de generar información sobre su composición. La fitorremediación es un proceso biológico y menos costoso a comparación de otros tratamientos, además de ser más eficiente en la remoción de metales pesados (Nuñez, 2021).

De acuerdo a Quispe et al (2017) la fitorremediación se caracteriza por ser una práctica de limpieza, la cual emplea plantas macrófitas que actúan como filtros biológicos para fijar sustancias metálicas en sus raíces y tallos, siendo las más conocidas *Eichhornia crassipes* y algunas especies de la familia *Lemnaceae*. Asimismo, para que la fitorremediación tenga un mayor grado de eficiencia, los contaminantes tienen que estar al alcance de las raíces de las plantas utilizadas en la remoción (Agudelo et al, 2005).

Según Jaramillo y Flores (2012) para determinar la capacidad de absorción de Mercurio (Hg) utilizó *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en condiciones similares, donde demostró que ambas especies tienen la capacidad de absorber hasta un 29.5% del Mercurio total en los primeros 7 días; sin embargo, *Eichhornia crassipes* presentó mayor resistencia y adaptación a las concentraciones de Mercurio presentes en el efluente.

Ortega y Sánchez (2019) evaluaron la capacidad de remoción de Cromo empleando *Eichhornia crassipes* y *Azolla sp.*, en aguas residuales provenientes de la industria de galvanotecnia, concluyendo que el Jacinto de agua es capaz de remover hasta un 80% del Cromo total en los primeros tres días, además de presentar mayor tolerancia a la toxicidad de este metal.

Coronel (2015) al determinar la eficiencia del *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, demostró que el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) es más eficiente en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con un 88.24% de capacidad de absorción.

Mena y Eyzaguirre (2020) estudiaron la efectividad del *Eichhornia crassipes* para absorber Mercurio en efluentes provenientes de una minera artesanal, en la localidad de Secocha – Urasqui, provincia de Camaná, Arequipa; concluyendo que la especie en un periodo de 20 días, tiene la capacidad de absorción de Mercurio en un 64.5%, además señala que el Jacinto de agua a menor tiempo de exposición presenta mayor suficiencia de filtración; sin embargo, Delgado (2021) sostiene que el *Eichhornia crassipes* es más eficiente a partir de los 14 días desde su aplicación.

Mena (2021) al evaluar la capacidad de remoción de metales pesados empleando *Eichhornia* crassipes (Jacinto de agua), *Schoenoplectus colifornicus* (Junco o totora) y *Phragmites australis* (gramínea trepadora) en aguas residuales domesticas del centro poblado de Nueva Esperanza, provincia de Huaura, Lima, demostró que el *Eichhornia crassipes* es más eficiente asimilando metales pesados como Níquel en un 94.73%, Plomo 84.36% y Cadmio con 78.48% de remoción.

El *Eichhornia crassipes* es una de las plantas acuáticas más estudiadas, ellas pueden obtener del agua todos los nutrientes necesarios para su crecimiento, además son capaces de fijar gran variedad de metales pesados en sus tejidos (Perales, 2018). Esta planta macrófita es procedente de América del sur, esencialmente de la cuenca Amazónica (Gutiérrez et al, 2021); aparenta carecer de tallo, suministrada de un rizoma del que se despliega un rosetón de hojas con superficies acuosas notablemente infladas que le permiten flotar en el agua, se propagan por medio de estolones, y posee un sistema de raíces asociados a microorganismos que facilitan la acción depuradora (Robalino, 2020).

El Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) aplicado en el tratamiento de aguas residuales, es una alternativa factible para ser aplicado en zonas rurales que no cuentan con una planta de tratamiento, puesto que presenta un valor prominente de remoción de parámetros fisicoquímicos y de metales pesados, además de ser un sistema de bajo costo y fácil aplicación (Fernández y Noguera, 2019).

El distrito de San José de Alto es una zona rural agrícola, en donde destaca la caficultura, para ello los pobladores utilizan al máximo sus recursos, siendo los pequeños arroyos y vertientes de agua utilizados de manera constante en el lavado del café; sin embargo, algunas de estas fuentes hídricas circulan por áreas donde años atrás hubo actividad minera, que luego de ser empleados en el lavado del café, son almacenadas junto con las aguas residuales municipales en el pozo de oxidación del distrito. Estas aguas residuales municipales no cuentan con tratamiento alguno y son reutilizadas para la irrigación de los cultivos, trayendo consecuentemente problemas en la salud de los pobladores y contaminando la producción de productos agrícolas.

Por lo cual, se hace está investigación para beneficio del ambiente y de la población, con los objetivos de caracterizar los parámetros físicos y concentraciones de metales pesados de las aguas residuales municipales del distrito San José del Alto, evaluar el crecimiento poblacional del *Eichhornia crassipes* en dichas aguas, y contrastar las concentraciones de metales pesados antes y después del tratamiento de fitorremediación con Jacinto de agua; con la finalidad de evaluar la eficiencia de fitorremediación del *Eichhornia crassipes* para disminuir las concentraciones de metales pesados en las aguas residuales municipales de la localidad, y que estos cumplan los parámetros establecidos en el D. S. N° 002-2008-MINAM, con respecto al riego de vegetales; de tal modo, los pobladores puedan reutilizar el agua residual municipal en la irrigación de sus cultivos, convirtiéndose en una alternativa costo-efectiva ideal frente a la contaminación ambiental en efluentes con metales pesados.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Instrumentos

2.1.1. Materiales

- Recipientes de vidrio.
- Baldes de polietileno.
- Guantes.
- Guardapolvo.
- Mascarillas.
- Frascos de polietileno de 1000 ml autoclavados.
- Cooler.
- Cinta adhesiva.
- Plumón indeleble color negro.
- Lápiz.
- Lapicero.
- Libreta de apuntes.
- Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

2.1.2. Equipos

- Bomba de circulación de agua.
- GPS.
- Cámara fotográfica.

2.1.3. Servicios

- Análisis de agua residual.

2.2. Población, muestra y muestreo

A. Población: el volumen total de agua residual municipal del distrito San José del Alto, depositada en los recipientes de vidrio, equivalente a 330 L.

B. Muestra: 0.002 m^3 o 2 L de agua tomada de los recipientes de vidrio que contienen aguas residuales municipales, con una frecuencia de una vez cada 21 días (Tabla 1).

Tabla 1

Número y tiempo de muestras

Punto de toma de muestra	N° muestras	Meses
Recipientes con aguas residuales municipales del distrito San José del Alto.	2	1

C. Muestreo: se recolectaron las muestras de agua residual municipal del distrito San José del Alto depositada en los recipientes de vidrio, empleando guardapolvo, guantes, mascarilla y frascos de polietileno para la recolección, siendo estos rotulados previamente, y depositados en un deposito térmico (cooler) para su transporte hacia el laboratorio, tal como está establecido en el protocolo R. D. N° 160-2015-DIGESA.

Fuentes de información:

- **Parámetros físicos**

Corresponden a las características o aspectos percibidos por los sentidos (Quintanilla y Ccoyori, 2019).

Temperatura: indica los desniveles térmicos del efluente, es un parámetro que incide sobre otros indicadores de calidad de agua como PH, conductividad, floculación, sedimentación, absorción de oxígeno, etc. (Sotil y Flores, 2016).

Sólidos: son aquellas partículas suspendidas (Ss) y disueltas (SD) presentes en el efluente, donde la suma de ambos se define como Sólidos

Totales (ST), esta medida nos permite percibir la cantidad total de sustancias no volátiles presentes en el agua residual (Jiménez, 2000).

- **Parámetros químicos**

PH: el potencial de Hidrogeno es un parámetro que indica si el efluente es ácido, básico o neutro, se mide en escala de 1 a 14 (Neutro = 7; Ácido < 7; Básico ≥ 8), todas las fases de un tratamiento de agua residual dependen del pH, se puede medir con un pH-metro (Sotil y Flores, 2016).

Metales pesados: son resultado de las actividades de agricultura, industria y la eliminación de residuos mineros, que pueden causar daños a la salud y al ambiente, siendo los más estudiados: Níquel, Cromo, Cadmio, Zinc, Cobre, Hierro y Mercurio (Vera, 2015).

- **Protocolo de la R. D. N° 160-2015-DIGESA**

La R. D. N° 160-2015-DIGESA establece un protocolo con la finalidad de brindar un procedimiento seguro y confiable, donde se detallan criterios que se deben aplicar para la obtención de la toma de muestra, como también preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de la misma; asimismo, estandariza los procedimientos técnicos, equipos y materiales que se pueden emplear (R. D. N° 160-2015-DIGESA).

- **Estándares de calidad ambiental para agua**

Tienen por finalidad vigilar los niveles de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas de los componentes acuáticos, con el objetivo de eludir daños a la salud y al ambiente (D. S. N° 002-2008-MINAM).

❖ **Parámetros para riego de vegetales**

De acuerdo al D. S. N° 002-2008-MINAM, son parámetros que todo proveedor debe verificar indudablemente en agua empleada para riego de cultivos, estos parámetros se presentan en la tabla 2.

Tabla 2

Parámetros para riego de vegetales de tallo Bajo y tallo Alto.

Parámetro	Unidad	Valor
Cadmio	mg/L	0.005
Cobre	mg/L	0.2
Cromo	mg/L	0.1
Mercurio	mg/L	0.001
Plomo	mg/L	0.05
Zinc	mg/L	2

Fuente: Adaptado del D. S. N° 002-2008-MINAM

2.3. Métodos y técnicas de investigación

2.3.1. Métodos

❖ **Selección del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)**

Se recolectaron 10 individuos de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) de un pozo de agua (criadero de peces) en la ciudad de Bellavista, cada individuo se seleccionó teniendo en cuenta el tamaño y color de hojas; los individuos seleccionados se lavaron con agua destilada y fueron depositados en un balde de polietileno con agua del grifo, para ser transportadas hacia los recipientes de vidrio con aguas residuales municipales del distrito San José del Alto.

❖ **Tratamiento con especie**

Se tomaron 0.330 m^3 de agua residual municipal de distrito San José del Alto, que luego fueron transportados y depositados en dos recipientes de vidrio con

capacidad de 0.180 m^3, en ellos el agua residual circuló de manera constante empleando una bomba de agua. Asimismo, las plantas de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) previamente seleccionados se introdujeron de manera directa por 21 días en los recipientes con agua residual municipal, introduciendo 5 individuos por cada recipiente.

- **Selección, toma y análisis de la muestra**

El punto de muestreo fueron los recipientes con agua residual municipal del distrito de San José del Alto; la toma de las muestras se realizó siguiendo el protocolo R. D. Nº 160-2015-DIGESA empleando guardapolvo, guantes, mascarilla, frascos de polietileno previamente rotulados y un deposito térmico (cooler). Luego se transportaron las muestras hacia el Laboratorio de Investigación de Suelo y Aguas (LABISAG), de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, para su respectivo análisis fisicoquímico.

2.3.2. Técnicas

- Para determinar los parámetros físicos y las concentraciones de metales pesados de las aguas residuales municipales del distrito San José del Alto, se empleó la técnica de análisis de laboratorio, dado que, una vez tomadas la muestras, estas fueron enviadas a LABISAG para su análisis físicoquímico.

- Para evaluar el crecimiento poblacional del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*), se empleó la técnica de observación, donde se cuantificó los nuevos individuos de Jacinto de agua presentes en los recipientes con aguas residuales municipales.

- Para contrastar las concentraciones de metales pesados antes y después del tratamiento de fitorremediación con Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes),* se empleó la observación directa, puesto que, se compararon los datos de los análisis fisicoquímicos, sin alterar los resultados.

2.4. Procedimiento de recolección de datos

2.4.1. Caracterizar los parámetros físicos y las concentraciones de metales pesados de las aguas residuales municipales del distrito de San José del Alto

A. Toma de muestras

La obtención de las muestras del agua residual municipal se realizó teniendo en cuenta la Tabla 1, que especifica el punto de toma, repeticiones y tiempo de las mismas. Asimismo, se siguió el protocolo R. D. Nº 160-2015-DIGESA para la toma de la primera (M1) y segunda (M2) muestra, esta última 21 días después de la anterior.

Toma de M1 Y M2

- Para realizar el muestreo se usó una indumentaria de protección personal: mascarilla facial, guantes, guardapolvo.
- Se empleó un GPS previamente calibrado para registrar las coordenadas UTM de punto de muestreo.

Tabla 3

Georreferenciación del punto del muestreo

Coordenadas UTM	Punto de muestreo M1 – M2
Este	719765
Norte	9396085
Altura	1276

- 24 horas antes del muestreo se adquirió y se puso a congelar cubos de hielo en un refrigerador, que luego fueron depositados en el cooler el día correspondiente al muestreo.

- ❖ Los frascos de polietileno fueron rotulados mediante una etiqueta con letra legible y protegida con cinta adhesiva transparente considerando: código de identificación de campo, coordenadas, localidad, fecha y hora del muestreo, tipo de análisis requerido y nombre del muestreador.

- ❖ Se tomó la muestra sumergiendo el frasco de polietileno destapado hasta la base de los recipientes de vidrio con agua residual municipal, llenando el envase hasta dejar un pequeño espacio vacío desde la tapa del mismo.

- ❖ Se realizó el cerrado del frasco evitando tocar el interior del mismo y la cara interna de la tapa.

- ❖ La muestra se depositó de inmediato en el cooler.

B. Protección, traslado y análisis de la muestra

Luego de recolectada la muestra, se introdujeron cubos de hielo alrededor de la misma, a fin de mantener la temperatura de conservación; inmediatamente se trasladó al Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, para su respectivo análisis.

2.4.2. Evaluar el crecimiento poblacional del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*).

21 días después de la introducción del Jacinto de agua en los recipientes con agua residual municipal del distrito San José del Alto, se observó el crecimiento poblacional del *Eichhornia crassipes*, cuantificando los nuevos individuos presentes en los recipientes con agua residual municipal, a partir de las 10 plantas que se introdujeron (5 por cada recipiente).

2.4.3. Contrastar las concentraciones de metales pesados antes y después del tratamiento de fitorremediación con Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*).

Se compararon las concentraciones de metales pesados de la primera y segunda muestra, obtenidos del informe de resultados de los análisis fisicoquímicos, remitidos por LABISAG, a fin de identificar que tanto difieren las concentraciones de metales pesados antes y después del tratamiento de fitorremediación.

La eficiencia (%) de remoción de las concentraciones de metales pesados se calculó aplicando la fórmula (Burgos y Diez, 2014):

$$E = \frac{Si - Sf}{Si} * 100$$

Donde:

E: Eficiencia de remoción.
Si: Concentración inicial.
Sf: Concentración final.

Con la ayuda de la herramienta Microsoft Office Excel, se crearon tablas y gráficos, para identificar las diferencias de concentraciones de metales pesados, antes y después de aplicar el sistema fitorremediador; además de visualizar la eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipe*s) para disminuir las concentraciones de metales pesados en aguas residuales municipales del distrito San José del Alto.

III. RESULTADOS

3.1. Caracterización de los parámetros físicos y las concentraciones de metales pesados de las aguas residuales municipales del distrito de San José del Alto.

A. Primer muestreo

En la Tabla 4 se muestran las concentraciones de parámetros físicos, característicos de las aguas residuales municipales del distrito San José del Alto, las cuales contienen 3685.00 mg/L de sólidos totales, un PH de 7.16 y una temperatura de 20.10 °C.

Tabla 4

Concentraciones de parámetros físicos del primer muestreo

Parámetros físicos analizados	Unidad de medida	Muestra
		M1
Temperatura	°C	20.10
PH	PH	7.16
Sólidos Totales	mg/L	3685.00

Fuente: Informe de análisis fisicoquímico emitido por la Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG).

En la Tabla 5 se muestran las concentraciones de metales pesados, característicos de las aguas residuales municipales del distrito San José del Alto, las cuales contienen 0.300 mg/L de Cadmio (Cd), Cobre (Cu) 0.640 mg/L, Cromo (Cr) <0.005 mg/L, Mercurio (Hg) 0.100 mg/L, Plomo (Pb) 1.190 mg/L y 4.800 mg/L. de Zinc (Zn).

Tabla 5

Concentraciones de metales pesados del primer muestreo

Metales pesados analizados	Unidad de medida	Muestra
		M1
Cadmio	mg/L	0.300
Cobre	mg/L	0.640
Cromo	mg/L	<0.005
Mercurio	mg/L	0.100
Plomo	mg/L	1.190
Zinc	mg/L	4.800

Fuente: Informe de análisis fisicoquímico emitido por Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG).

B. Segundo muestreo

En la Tabla 6 se muestran las concentraciones de metales pesados, luego de haber aplicado el tratamiento de fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), obteniendo 0.040 mg/L de Cadmio (Cd), Cobre (Cu) 0.260 mg/L, Cromo (Cr) <0.005 mg/L, Mercurio (Hg) <0.005 mg/L, Plomo (Pb) 0.180 mg/L y 0.380 mg/L de Zinc (Zn).

Tabla 6

Concentraciones de metales pesados del segundo muestreo

Metales pesados analizados	Unidad de medida	Muestra
		M2
Cadmio	mg/L	0.040
Cobre	mg/L	0.260
Cromo	mg/L	<0.005
Mercurio	mg/L	<0.005
Plomo	mg/L	0.180
Zinc	mg/L	0.380

Fuente: Informe de análisis fisicoquímico emitido por Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG).

3.2. Evaluación del crecimiento poblacional del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*)

21 días después de haber introducido el Jacinto de agua en los recipientes de vidrio con agua residual municipal; se cuantificó un total de 19 individuos de *Eichhornia crassipes*, existiendo 9 plantas nuevas a partir de los 10 que fueron introducidas, tal como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

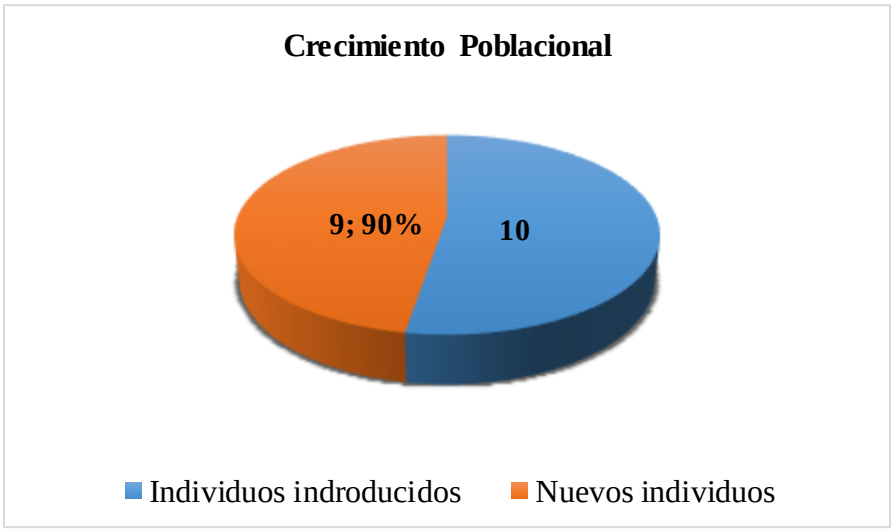
Crecimiento poblacional del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)

Tiempo (días)	Individuos introducidos	Nuevos individuos	Crecimiento Poblacional %
21	10	9	90

En la figura 1 se aprecia la rápida adaptación y reproducción del *Eichhornia crassipes* en aguas residuales municipales del distrito San José del Alto, tiendo un 90% de crecimiento poblacional, luego de 21 días.

Figura 1

Crecimiento poblacional del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)



3.3. Contraste de las concentraciones de metales pesados antes y después del tratamiento de fitorremediación con Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*)

Se presentan las concentraciones de metales pesados analizados, obtenidas del primer y segundo muestreo, las mismas que son comparadas en la Tabla 8; aunado a ello, los datos evaluados se encuentran procesados en la misma, permitiendo una mejor identificación de la variación de las concentraciones de metales pesados antes y después del tratamiento.

Tabla 8

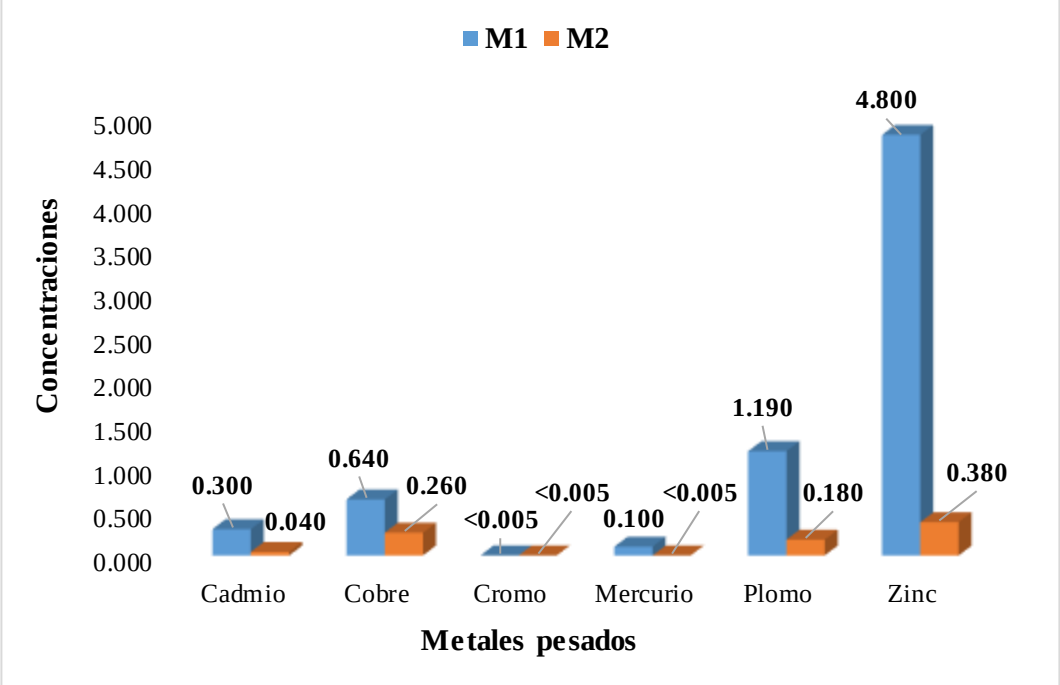
Comparación de las concentraciones obtenidas del primer y segundo muestreo

Metales pesados	Unidad de medida	Muestra		Remoción %
		M1	M2	
Cadmio	mg/L	0.300	0.040	86.67
Cobre	mg/L	0.640	0.260	59.38
Cromo	mg/L	<0.005	<0.005	-
Mercurio	mg/L	0.100	<0.005	95.01
Plomo	mg/L	1.190	0.180	84.87
Zinc	mg/L	4.800	0.380	92.08

En la Figura 2 se aprecia las concentraciones de metales pesados del primer y segundo muestreo, presentado niveles más bajos en el segundo análisis, a excepción del Cromo (Cr) que presenta las mismas concentraciones en el primer y segundo muestreo, estando por debajo de 0.005 mg/L. Asimismo, se demostró que luego de 21 días el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) disminuyó el Cadmio inicial de 0.300 mg/L a un resultado final de 0.040 mg/L, obteniendo un 86.67 % de remoción; el Cobre inicial de 0.640 mg/L se redujo a 0.260 mg/L con 59.38 % de remoción; el Mercurio inicial de 0.100 mg/L disminuyó a un valor debajo de 0.005 mg/L presentado 95.01% de remoción; el Plomo inicial de 1.190 mg/L bajó a 0.180 mg/L con 84.87 % de remoción y el Zinc inicial de 4.800 mg/L redujo su concentración a 0.380 mg/L, obteniendo un 92.08 % de remoción.

Figura 2

Comportamiento de las concentraciones de metales pesados del primer y segundo muestreo



IV. DISCUSIÓN

Las aguas residuales municipales del distrito de San José del Alto se caracterizan por tener parámetros físicos como sólidos totales en 3685.00 mg/L, con una temperatura de 20.10 °C y un PH de 7.16, los cuales permitieron la adaptación y rápido crecimiento del *Eichhornia crassipes*; compartiendo el enunciado con Ortega y Sánchez (2019), quienes consideran que las condiciones idóneas comprenden una temperatura entre 15 a 30 °C y un PH de 6 - 8. Asimismo estas presentan concentraciones de Cadmio (Cd) en 0.300 mg/L, Cobre (Cu) 0.640 mg/L, Cromo (Cr) <0.005 mg/L, Mercurio (Hg) 0.100 mg/L, Plomo (Pb) 1.190 mg/L y Zinc (Zn) en 4.800 mg/L, demostrando la presencia de metales pesados, mismos que sobrepasan los estándares de calidad ambiental establecidos en el D. S. N° 002-2008-MINAM con respecto al riego de vegetales de tallo alto y tallo bajo.

Según Rodríguez et al (2013) la cantidad de plantas y biomasa del *Eichhornia crassipes* se duplica entre 20 a 24 días, puesto que poseen gran cantidad de hebras en sus raíces capaces de asimilar nutrientes y partículas suspendidas, rasgo distintivo por el cual presenta un alto valor de propagación y crecimiento; estando de acuerdo con la conclusión del autor, debido a que se obtuvo un 90% de crecimiento poblacional en un periodo de 21 días, dado que el Jacinto de agua manifiesta asociaciones microbianas que le permiten propagarse con mayor rapidez.

La aplicación de plantas flotantes responde notablemente en el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, tal como menciona (Sandoval, 2019), mismo que evaluó en condiciones similares, la eficiencia del *Eichhornia crassipes* en la remoción de Cadmio, demostrando que el Jacinto de agua en un periodo de 11 días, tiene la capacidad de remover Cadmio hasta un 83.57%; por lo que se comparte la conclusión del autor, puesto que el *Eichhornia crassipes* en un periodo de 21 días, absorbió un 86.67% de este metal; eficiencia de remoción contigua al que menciona

Aquino (2023), quien evaluó en un periodo de 25 días, la capacidad del *Eichhornia crassipes* para depurar Plomo y Cadmio, empleando contenedores de vidrio contenidos de agua con estos contaminantes, obteniendo un 84.33% de absorción de Cadmio; aunado a ello, Aquino (2023) sostiene que el Jacinto de agua tiene un 82.73% de filtración de Plomo, porcentaje próximo al que se demostró en esta investigación, donde el *Eichhornia crassipes* depuró un 84.87 % del Plomo inicial.

Asimismo, (Ambrocio y Quiroz, 2021) en un ambiente controlado, evaluó la capacidad de fitorremediación del *Eichhornia crassipes* en aguas contaminadas con Mercurio, utilizando 20 individuos de Jacinto de agua en un lapso de 15 días, manifestando que el *Eichhornia crassipes* tiene la capacidad de remover un 90 % de este metal; sin embargo, la presente investigación demostró que el Jacinto de agua en un periodo de 21 días, presenta una eficiencia de remoción de 95.01% de Mercurio, en donde además se empleó solo 10 plantas de *Eichhornia* crassipes; demostrando que el número de macrófitas utilizadas no genera mayores resultados, haciendo mayor énfasis a las condiciones en las que se realiza el tratamiento. Aunque los porcentajes de absorción de Mercurio de ambos estudios son aledaños, discrepan de efluentes tratados, ampliando el campo de aplicación del *Eichhornia crassipes* como sistema fitorremediador.

Por otro lado, López (2022) evaluó la efectividad de absorción de metales pesados del *Chrysopogon zizanioides* y *Eichhornia crassipes*, implementando soportes flotantes en tinas con agua del río Prieto, donde demostró que el Jacinto de agua tiene una capacidad de remoción del 52.94% y 73.58% de Cobre y Zinc respectivamente, puesto que presenta tolerancia prominente a las variaciones de concentraciones de metales pesados. No obstante, el presente estudio determinó que el *Eichhornia crassipes* tiene la capacidad de remover 59.38% de Cobre y 92.08% de Zinc; registrando así la eficiencia de fitorremediación de esta macrófita para disminuir las concentraciones de estos contaminantes.

V. CONCLUCIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Esta investigación permitió cuantificar las concentraciones de parámetros físicos, tales como temperatura en 20.10 °C, con un PH de 7.16 y sólidos totales en 3685.00 mg/L, asimismo, se estimó las concentraciones de metales pesados que presentan las aguas residuales municipales del distrito San José del Alto, como son Cadmio en 0.300 mg/L, Cobre 0.640 mg/L, Cromo <0.005 mg/L, Mercurio 0.100 mg/L, Plomo 1.190 mg/L y Zinc en 4.800 mg/L, mismas que servirán como data para posteriores investigaciones.

- El *Eichhornia crassipes* presenta una rápida adaptación y reproducción en las aguas residuales municipales del distrito San José del Alto, con un 90% de crecimiento poblacional, existiendo 9 plantas nuevas a partir de los 10 que fueron utilizadas en el tratamiento de fitorremediación.

- El Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) es eficiente como sistema de fitorremediación para disminuir las concentraciones de mestales pesados en aguas residuales municipales del distrito San José del Alto, puesto que removió al Cadmio en un 86.67%, Cobre 59.38%, Mercurio 95.01%, Plomo 84.87% y Zinc en 92.08%, siendo así una alternativa objetiva conveniente frente a la contaminación ambiental en efluentes con metales pesados.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda a la municipalidad distrital San José del Alto, desarrollar un sistema de fitorremediación en las aguas residuales municipales de la localidad, que implique el uso de plantas macrófitas como *Eichhornia crassipes*, puesto que tiene una capacidad prominente de remoción de metales pesados; asimismo, tratar los suelos de los cultivos donde el agua residual municipal fue reutilizada, puesto que estas contienen concentraciones de metales pesados que sobrepasan los parámetros establecidos en el D. S. N° 002-2008-MINAN con respecto al riego de vegetales.

- Para posteriores investigaciones se recomienda remover las plantas de *Eichhornia crassipes* que presenten hojas y tallos marchitas, estos son indicadores del fin del ciclo de vida de la planta, de tal modo los contaminantes fijados por la especie no afecten nuevamente al efluente que se esté tratando; asimismo, la disposición final de dichas plantas deben ser en ambientes controlados, que carezcan de filtración y escorrentía, para así evitar contaminar otros ecosistemas.

- Para futuras investigaciones se recomienda que al emplear *Eichhornia crassipes* como sistema fitorremediador, prologuen el periodo del tratamiento a un mínimo de 30 días, puesto que ha demostrado ser eficiente en la disminución de concentraciones de metales pesados, de tal modo estos logren comprender los parámetros establecidos en el D. S. N° 002-2008-MINAM, con respecto al riego de vegetales, contribuyendo indirectamente con la agricultura.

- Para proyectos y posteriores investigaciones que impliquen el uso del Jacinto de agua como sistema fitorremediador, se recomienda realizar las instalaciones donde la especie perciba mayor iluminación, para que este tenga un mejor desarrollo.

- Divulgar este tipo de estudios para suscitar oportunidades en la toma de decisiones políticas, respecto a la deficiencia de recursos para el despliegue de proyectos en zonas rurales, donde se empleen medidas sustentables para el bienestar de la población.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agudelo, L. et al (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. Revista Lasallista de Investigación, 2(1), 57-60. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520110

Ambrocio, B. y Quiroz, G. (2021). *Fitorremediación de Aguas Contaminadas con Mercurio utilizando Eichhornia crassipes, Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional UPN. https://hdl.handle.net/11537/28971

Aquino, J. (2023). *Eficiencia de Macrófitas flotantes en la depuración de aguas contaminadas por Plomo y Cadmio, Cajamarca – 2021*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional UNC. http://hdl.handle.net/20.500.14074/5503

Burgos, M. Diez, S. (2015). *Eficiencia de remoción de cromo hexavalente, Cr6+, por plantas en humedales artificiales de flujo artificial, 2014* [Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio institucional UNPRG. https://hdl.handle.net/20.500.12893/820

Coronel, E. (2016). *Eficiencia del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y (Lemna minor) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas - 2015* [Tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza]. Repositorio institucional UNTRM. https://hdl.handle.net/20.500.14077/657

Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. *Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua*. Recuperado de https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/ds_002_2008_eca_agua.pdf

Delgado, J. (2021). *Evaluación del aporte de plantas acuáticas Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de Reque, provincia de Chiclayo* [Tesis de grado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio institucional USAT. http://hdl.handle.net/20.500.12423/3965

Fernández, M. y Noguera, W. (2019). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) en dos tiempos de retención hidráulica como alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el corregimiento de Usenda, Silvia – Cauca* [Tesis de grado, Fundación Universitaria de Popayán]. Repositorio institucional FUP. http://unividafup.edu.co/repositorio/files/original/71197345871443bcd5e08cd03d1dad4a.pdf

Gutiérrez, P. et al (2021). Aplicación de la biomasa de *Eichhornia crassipes* en la remoción de cadmio (II) en agua contaminadas por desechos industriales. Avances en Ciencia e Ingeniería, 12 (3), 17-29. Recuperado de https://www.executivebs.org/publishing.cl/aci/2021/Vol12/Nro3/2-ACI1385-21%20full.pdf

Jaramillo, M. y Flores, E. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua) y Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio institucional UPS. https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939

Jiménez, A. (2000). Determinación de los Parámetros Físico-Químicos de Calidad de las Aguas [artículo científico, Universidad Carlos III]. Recuperado de http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf

López, A. (2022). *Eficiencia de fitoextracción de metales pesados del río Prieto, Santa Bárbara Almoloya, Puebla* [Tesis de post grado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio institucional BUAP. https://hdl.handle.net/20.500.12371/17000

Mena, A. (2021). Propiedades del *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Schoenoplectus colifornicus* (Junco), y el *Phragmites australis* (Carricillo). Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, 24(47), 101–108. https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20656

Mena, C. y Eyzaguirre, A. (2019). *Efectos del Eichhornia crassipes en la remoción de mercurio en efluentes mineros provenientes de la minería artesanal (Secocha, 2019)* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio institucional UTP. https://hdl.handle.net/20.500.12867/3609

Nuñez, F. (2021). *Jacinto de agua y tiempo de permanencia en el proceso de fitorremediación de las lagunas PTAR – Indio* [Tesis de post grado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio institucional UNP. http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2705

Ortega, S. Sánchez, D. (2019). *Evaluación de la capacidad de remoción de cromo de Eichhornia crassipes y Azolla sp., con miras a su aplicación como tratamiento complementario de aguas residuales de la industria galvanotécnica* [Tesis de grado, Universidad de la Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1137

Perales, K. (2018). *Tratamiento de aguas residuales domésticas por fitorremediación con Eichhornia crassipes en la zona rural del caserío Santa Catalina Moyobamba 2017* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio institucional UNP. http://hdl.handle.net/11458/2734

Quintanilla, S. y Ccoyori, K. (2019). *Caracterización de las aguas residuales de los laboratorios de Química de la UTP - Arequipa 2019* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio institucional UTP. https://hdl.handle.net/20.500.12867/2609

Quispe, L. et al (2017). *Eficiencia de la especie macrófita Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental.* Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo, 3(1). https://doi.org/10.17162/rictd.v3i1.650

Resolución Directoral N° 160-2015-DIGESA. *Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano*. Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/NormasLegales/Normas/RD_160_2015_DIGES A.pdf

Reyes, W. (2020). *Optimización del Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas mediante la Implementación del Sistema MBBR en la Provincia de Caylloma – AQUAFIL* [tesis de post grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15532/Reyes_aw.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Robalino, D. (2020). *Fitorremediación usando Eichhornia crassipes (Jacinto de agua), en la planta de tratamiento de aguas residuales del recinto PITA, Caluma – Bolívar* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional UG. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/48742

Rodríguez, J. et al (2013). *Crecimiento y potencial reproductivo de la bora (Eichhornia crassipes) (Pontederiaceae) en algunas lagunas de la planicie de inundación del tramo medio, río Orinoco, Venezuela*. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622013000200003

Sandoval, J. (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 grado, Universidad Nacional Federico Villareal] Repositorio institucional UNFV. http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3256

Sotil, L. y Flores, H. (2016). *Determinación de Parámetros Físicos, Químicos y Bacteriológicos del Contenido de las Aguas del Río Mazán – Loreto, 2016* [tesis de grado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio institucional UNAP. http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4156

Vera, L. (2015). Eliminación de los Metales Pesados de las Aguas Residuales Mineras utilizando el Bagazo de Caña como Biosorbente [artículo científico, Universidad de Cuenca]. Recuperado de https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/download/308436/398451

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy gracias a Dios por permitirme existir; guiarme, darme la fortaleza, y protegerme en cada momento de mi vida; por concederme la sabiduría para enfrentar cada obstáculo que se fue presentando durante el cumplimiento de mis metas, por nunca dejarme caer y por hacer que día a día aprenda cosas nuevas.

A mí madre, por esforzarse cada día en darme lo mejor, por enseñarme los buenos valores, por ser de apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por brindarme amor, cariño y comprensión que fueron los pilares para nunca rendirme.

A mí hermana, familia y a las personas que colaboraron, que estuvieron siempre apoyándome incondicionalmente, tanto en lo académico y moral, incentivándome a seguir adelante.

A la Universidad Nacional de Jaén por ser mi segunda casa de formación tanto personal como profesional, por brindarme docentes competentes quienes me educaron compartiéndome sus sabios conocimientos para mejorar mi nivel de aprendizaje y formación profesional.

A mí asesor de tesis PhD Wilfredo Ruiz Camacho, por su compromiso con la presente investigación, por el apoyo constante hasta lograr mi objetivo, por su tiempo y atención brindada para la revisión minuciosa de la redacción de este informe, por sus importantes opiniones y sugerencias para que esta investigación salga de la mejor manera.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza por haberme permitido realizar mis respectivos análisis de los parámetros físicos y de metales pesados en su Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG) considerando que este servicio es la herramienta principal para la realización de esta investigación.

DEDICATORIA

Dedico este peldaño de mi vida a Dios por su infinito amor, por brindarme segundas oportunidades para realizar mis sueños, por la sabiduría para enfrentar cada obstáculo en mi vida.

A mi madre, la Sra. Lila Magalis Martínez Jiménez, por apoyarme siempre en cada proyecto, por educarme y ayudarme a lograr mis objetivos profesionales, por brindarme amor y concejos para tomar buenas decisiones en cada etapa de mi vida.

A mi hermana Gabriela Oblitas Martínez por brindarme ese apoyo incondicional en mi formación personal como profesional.

A mi padre, el Sr. Regulo Miguel Oblitas Guevara, por cuidarme siempre desde arriba, un abrazo hasta el cielo papá.

ANEXOS

Anexo 1: FOTOGRAFÍAS

Figura 3

Disposición final de aguas residuales municipales del distrito San José del Alto

Figura 4

Traslado del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)

Figura 5

Inserción del Jacinto de agua en los recipientes con aguas residuales municipales

Figura 6

Sistema radicular del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)

Figura 7

Recepción de M1 del primer muestreo en el (LABISAG)

Figura 8

Recepción de M2 del segundo muestreo en el (LABISAG)

Figura 9

Área de cultivo donde se reutilizó el agua residual municipal

Figura 10

Cadena custodia de análisis de metales pesados (primer muestreo)

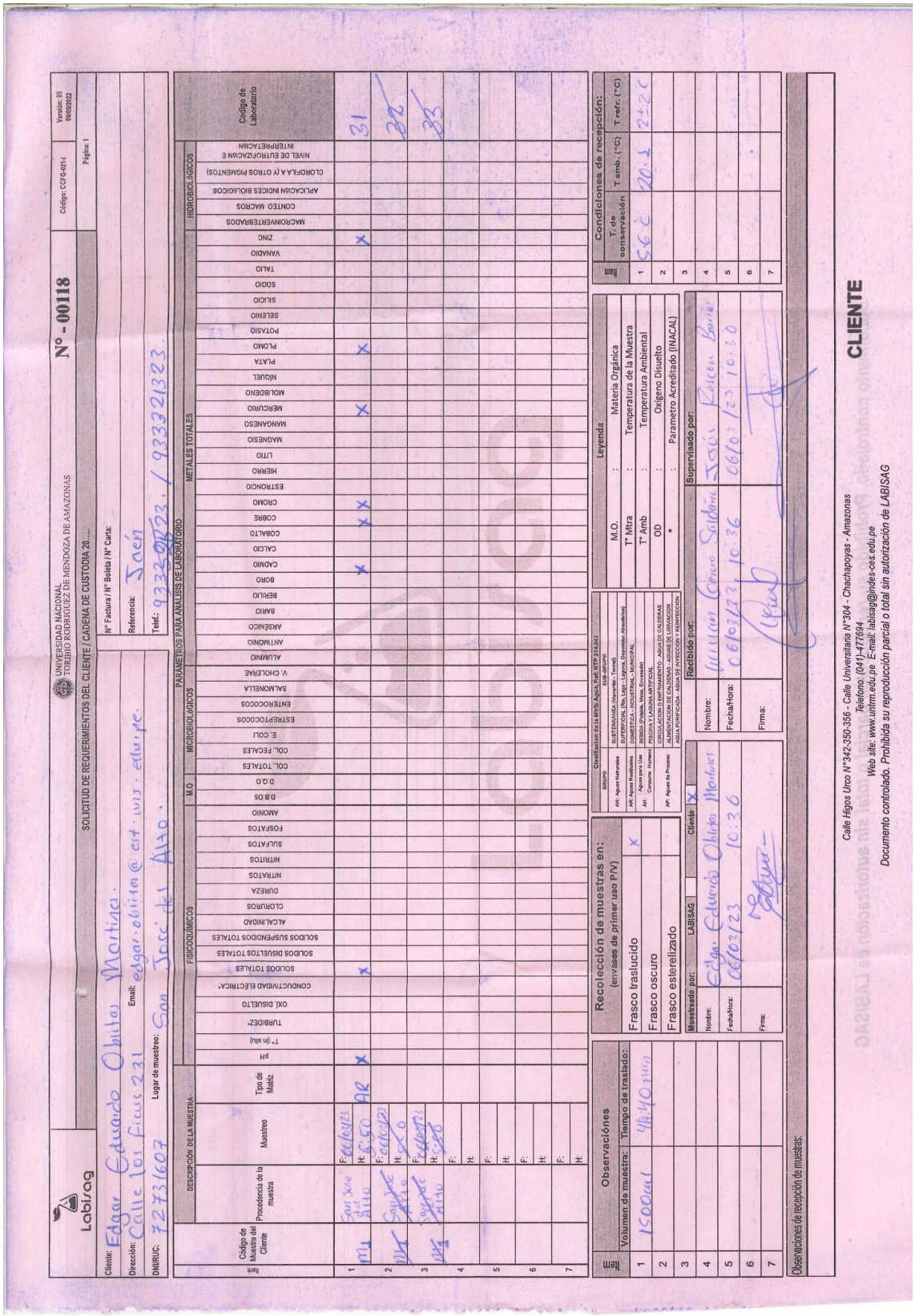
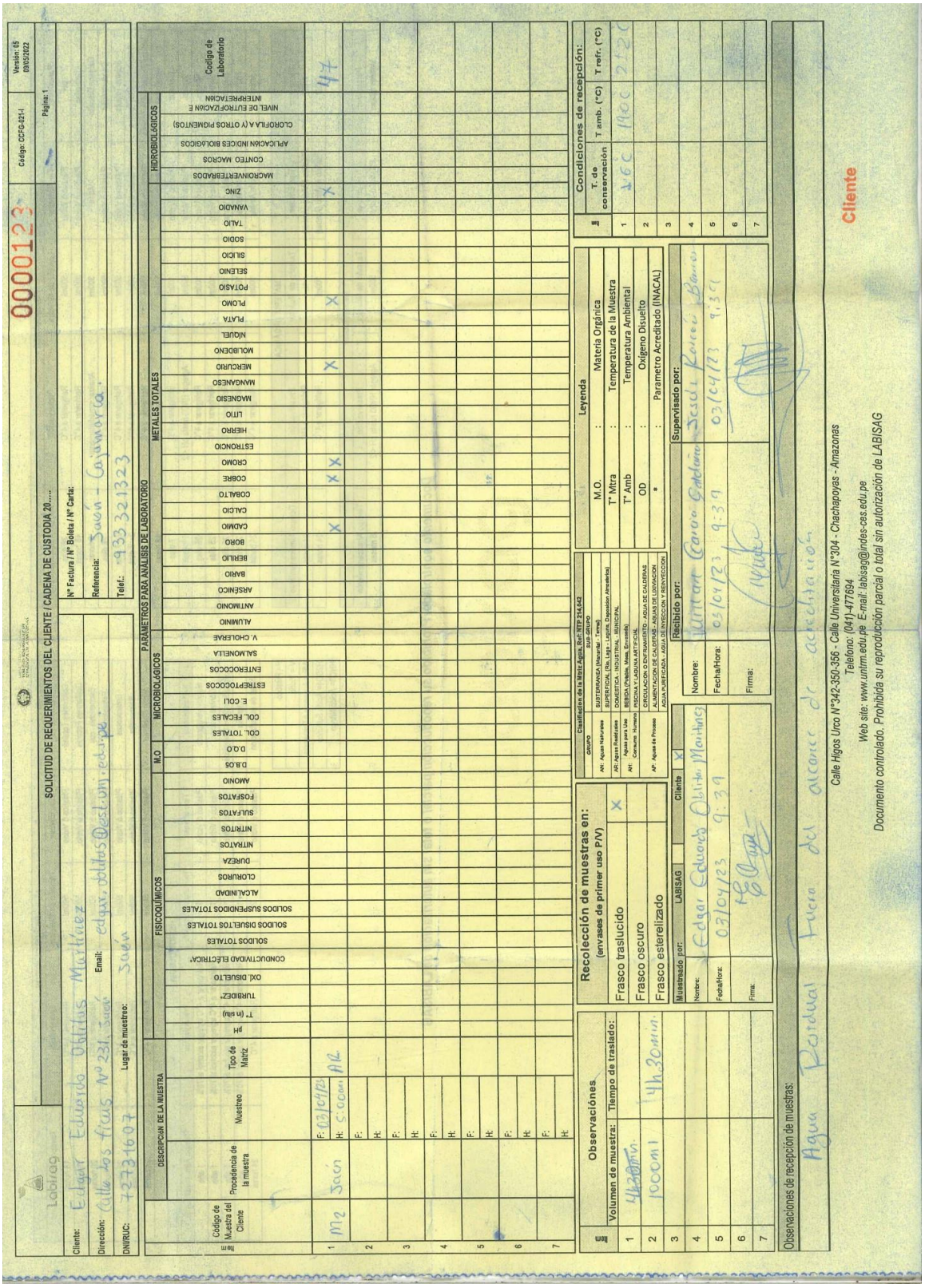


Figura 11

Cadena custodia de análisis de metales pesados (primer muestreo)



ANEXO 2: INFORMES DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE MESTALES PESADOS

Labisag	UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	Código: CCFT-0036	Versión: 03 09/05/22
	INFORME DE ENSAYO		Página: 01

INFORME DE ENSAYO N° : LAB23-AA-031

DATOS GENERALES

NOMBRE COMPLETO O RAZON SOCIAL	:	EDGAR EDUARDO OBLITAS MARTINES
TELÉFONO	:	933321323
E-MAIL	:	edgar.oblitas@est.unj.edu.pe
DIRECCIÓN	:	CALLE LOS FICUS 231
RUC / DNI	:	72731607
REFERENCIA	:	JAÉN
PROCEDENCIA	:	SAN JOSÉ DEL ALTO
PRESENTACIÓN	:	01 ENVASE DE PLÁSTICO TRASLUCIDO 500ml
**MUESTREADO POR*	:	*EDGAR EDUARDO OBLITAS MARTINES*
**FECHA Y HORA DE COLECTA*	:	*lunes, 06 de marzo de 2023* *05:50:00 a.m.*
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN	:	lunes, 06 de marzo de 2023 12:00:00 a.m.
FECHA Y HORA DE INICIO DE ENSAYOS	:	lunes, 06 de marzo de 2023 11:14:00 a.m.
FECHA Y HORA DE EMISIÓN DEL INFORME DE ENSAYO	:	viernes, 14 de abril de 2023 04:08:26 p.m.
**CÓDIGO DE MUESTRA CLIENTE*	:	*M1*
TIPO DE AGUA	:	AGUA RESIDUAL MUNICIPAL
AREA DE DESARROLLO DE LOS ANALISIS	:	FQ Y MP

AUTORIZADO POR:	FUNCIONES:	FIRMA:
Jesús Rascón Barrios	Responsable del Laboratorio	UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS LABISAG M. Sc. JESUS RASCON BARRIOS RESPONSABLE

RESULTADOS DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS.
PARÁMETROS FÍSICOS Y DE AGREGACIÓN

PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	R. E.	MUESTRA
pH	Metodo 4500-H+ ; APHA, AWWA, WEF.	pH	0.02	7.16
SOLIDOS TOTALES	Método 2540 B, APHA, AWWA, WEF.	mg/L	-	3685.00

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE METALES TOTALES
PARÁMETROS INORGÁNICOS METÁLICOS

PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	L. D.	MUESTRA
CADMIO	Método 3120-B; APHA,AWWA, WEF. Método de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) para MP-AES	ppm Cd	<0,005	0.300
COBRE	Método 3120-B; APHA,AWWA, WEF. Método de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) para MP-AES	ppm Cu	<0,005	0.640
CROMO	Método 3120-B; APHA,AWWA, WEF. Método de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) para MP-AES	ppm Cr	<0,005	<0,005

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE METALES TOTALES
PARÁMETROS INORGÁNICOS METÁLICOS

PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	L. D.	MUESTRA
MERCURIO	Método 3120-B; APHA,AWWA, WEF. Método de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) para MP-AES	ppm Hg	<0,005	0.100
PLOMO	Método 3120-B; APHA,AWWA, WEF. Método de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) para MP-AES	ppm Pb	<0,005	1.190
ZINC	Método 3120-B; APHA,AWWA, WEF. Método de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) para MP-AES	ppm Zn	<0,005	4.800

R.E. = Resolución Equipo. L. D.= Limite mínimo de detección del método. U.D.= Unidad de Medida. MB=Área de Análisis Microbiológico. FQ= Área de Análisis Fisicoquímico. EEA= Área de Espectrofotometría de Emisión Atómica

* OBSERVACIONES	AGUA RESIDUAL FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACIÓN

Este laboratorio está acreditado de acuerdo a la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA.

"(*) La información resaltada en negrita y cursiva en los datos generales, es información proporcionada por el cliente, lo cual deslinga al laboratorio de toda responsabilidad del muestreo realizado por el cliente".

Los resultados presentados son validos únicamente para las muestras ensayadas.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LABISAG.

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

cc. Arc

Recibí Conforme:

Nombre:

DNI:

Fecha y Hora:

Firma de Conformidad

Calle Higos Urco N°342-350-356 - Calle Universitaria N°304 - Chachapoyas - Amazonas - Perú
labisag@untrm.edu.pe / labisag@unitrm-ccs.edu.pe

"FIN DEL DOCUMENTO"

Labisag	UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	Código: CCFT-0036	Versión: 03 09/05/22
	INFORME DE ENSAYO		Página: 01

INFORME DE ENSAYO N° : LAB23-AA-047

DATOS GENERALES

NOMBRE COMPLETO O RAZON SOCIAL	:	EDGAR EDUARDO OBLITAS MARTINES
TELÉFONO	:	933321323
E-MAIL	:	edgar.oblitas@est.unj.edu.pe
DIRECCIÓN	:	CALLE LOS FICUS N° 231 JAÉN
RUC / DNI	:	72731607
REFERENCIA	:	CAJAMARCA
PROCEDENCIA	:	JAÉN
PRESENTACIÓN	:	01 ENVASE DE PLÁSTICO TRASLUCIDO 1000ml
**MUESTREADO POR*	:	*EDGAR EDUARDO OBLITAS MARTINES*
**FECHA Y HORA DE COLECTA*	:	*lunes, 03 de abril de 2023* *05:00:00 a.m.*
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN	:	lunes, 03 de abril de 2023 12:00:00 a.m.
FECHA Y HORA DE INICIO DE ENSAYOS	:	lunes, 03 de abril de 2023 11:00:00 a.m.
FECHA Y HORA DE EMISIÓN DEL INFORME DE ENSAYO	:	viernes, 21 de abril de 2023 04:50:34 p.m.
**CÓDIGO DE MUESTRA CLIENTE*	:	*M2*
TIPO DE AGUA	:	AGUA RESIDUAL MUNICIPAL
ÁREA DE DESARROLLO DE LOS ANALISIS	:	MP

AUTORIZADO POR:	FUNCIONES:	FIRMA:
Jesús Rascón Barrios	Responsable del Laboratorio	UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS LABISAG M. Sc. JESUS RASCON BARRIOS RESPONSABLE

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE METALES TOTALES

PARÁMETROS INORGÁNICOS METÁLICOS

PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	L. D.	MUESTRA
CADMIO	Método 3120-B; APHA,AWWA, WEF. Método de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) para MP-AES	ppm Cd	<0,005	0.040
COBRE	Método 3120-B; APHA,AWWA, WEF. Método de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) para MP-AES	ppm Cu	<0,005	0.260
CROMO	Método 3120-B; APHA,AWWA, WEF. Método de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) para MP-AES	ppm Cr	<0,005	<0,005

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE METALES TOTALES

PARÁMETROS INORGÁNICOS METÁLICOS

PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	L. D.	MUESTRA
MERCURIO	Método 3120-B; APHA,AWWA, WEF. Método de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) para MP-AES	ppm Hg	<0,005	<0,005
PLOMO	Método 3120-B; APHA,AWWA, WEF. Método de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) para MP-AES	ppm Pb	<0,005	0.180
ZINC	Método 3120-B; APHA,AWWA, WEF. Método de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) para MP-AES	ppm Zn	<0,005	0.380

R.E. = Resolución Equipo. L. D.= Límite mínimo de detección del método. U.D.= Unidad de Medida. MB=Área de Análisis Microbiológico. FQ= Área de Análisis Fisicoquímico. EEA= Área de Espectrofotometría de Emisión Atomica

* OBSERVACIONES	AGUA RESIDUAL FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACIÓN

Este laboratorio está acreditado de acuerdo a la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA.

"(*) La información resaltada en negrita y cursiva en los datos generales, es información proporcionada por el cliente, la cual desliga al laboratorio de toda responsabilidad del muestreo realizado por el cliente".

Los resultados presentados son validos únicamente para las muestras ensayadas.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LABISAG.

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

CC. Arc.

Recibí Conforme:

Nombre:

DNI:

Fecha y Hora:

Firma de Conformidad

Calle Higos Urco N°342-350-356 - Calle Universitaria N°304 - Chachapoyas - Amazonas - Perú
labisag@untrm.edu.pe / labisag@indes-ces.edu.pe

"FIN DEL DOCUMENTO"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

FORMATO 01: COMPROMISO DE ASESOR

El que suscribe, Dr. Wilfredo Ruíz Camacho, con Profesión/Grado de: Ingeniero Agrónomo e identificado con DNI N°: 08649187, con conocimiento del Reglamento General de Grado Académico y Título Profesional de la Universidad Nacional de Jaén, se compromete y deja constancia de las orientaciones al egresado: Edgar Eduardo Oblitas Martínez, de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, en la formulación y ejecución del:

( ) Plan de Trabajo de Investigación
( ) Informe Final de Trabajo de Investigación
( ) Proyecto de Tesis
(X) Informe Final de Tesis
( ) Informe Final del Trabajo por Suficiencia Profesional

Por lo indicado, doy testimonio y visto bueno que el Asesorado ha ejecutado el Informe Final de Tesis; por lo que en fe a la verdad suscribo la presente.

Jaén, 02 de Septiembre de 2023

PhD. Wilfredo Ruíz Camacho

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

FORMATO 04: DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo: Edgar Eduardo Oblitas Martínez, identificado(a) con DNI N°: 72731607, egresado de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén; **declaro bajo juramento que**: Soy autor(a) del Proyecto de Tesis; titulado: Eficiencia de Fitorremediación del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) para disminuir las concentraciones de metales pesados en aguas residuales municipales del distrito San José del Alto, provincia de Jaén – Cajamarca.

1. El mismo que presento **para optar el: ( )** Grado Académico de Bachiller (**X)** Título Profesional.

-

2. El Informe Final de Tesis; **no ha sido plagiado ni total ni parcialmente**, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. El Informe Final de Tesis; presentado, **no atenta contra derechos de terceros.**

4. El Informe Final de Tesis; **no ha sido publicado ni presentado anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.**

5. Los datos presentados en los resultados **son reales**, **no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.**

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Informe Final de Tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNJ en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del Informe Final de Tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el Informe Final de Tesis; haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Jaén, 02 de Septiembre de 2023.

Firma – Huella digital

RESOLUCIÓN DE VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN N° 851-2022-UNJ

"AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL"

Jaén, 20 de diciembre del 2022

VISTO: Resolución de Vicepresidencia de Investigación N° 626-2022-UNJ, de fecha 22 de noviembre del 2022; Acta de reunión, de fecha 15 de diciembre del 2022; Informe N°010-2022-UNJ-VPI/CCI/AHM, de fecha 15 de diciembre del 2022; Oficio N° 090-2022-CCI-VPI-UNJ, de fecha 19 de diciembre del 2022 y,

CONSIDERANDO:

Que, la Ley Universitaria 30220 en su artículo 50°, prescribe que, "el Vicerrectorado de Investigación, según sea el caso, es el organismo de más alto nivel en la universidad en el ámbito de la investigación. Está encargado de orientar, coordinar y organizar los proyectos y actividades que se desarrollan a través de las diversas unidades académicas. Organiza la difusión del conocimiento y promueve la aplicación de los resultados de las investigaciones, así como la transferencia tecnológica y el uso de las fuentes de investigación, integrando fundamentalmente a la universidad, la empresa y las entidades del Estado".

Que, mediante Resolución Viceministerial N° 111-2022-MINEDU, del 02 de septiembre del 2022, se reconforma la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Jaén, integrada por: Hugo Wenceslao Miguel Miguel, Presidente; Segundo Primitivo Vaca Marquina, Vicepresidente Académico; y, Pedro José Rodenas Seytuque, Vicepresidente de Investigación.

Que, en concordancia con la Ley N° 29304, Ley de Creación de la Universidad Nacional de Jaén, Estatuto y Reglamento General de la Universidad Nacional de Jaén, la Comisión Organizadora mediante Resolución N° 053-2016-CO-UNJ de fecha 12 de febrero del 2016, aprueba delegar facultades al Vicepresidente Académico y Vicepresidente de Investigación para emitir resoluciones en el ámbito de su competencia y atribuciones.

Que mediante Resolución N° 268-2020-CO-UNJ, de fecha 07 de septiembre del 2020, se conforma la Comisión Central de Investigación (CCI) en la Universidad Nacional de Jaén, esta comisión está integrada por cinco docentes que participan del Taller de Investigación Científica, uno por cada Carrera Profesional quienes se encargarán de revisar y realizar las acciones administrativas que correspondan en coordinación con la Vicepresidencia de Investigación.

Que, mediante Resolución de Vicepresidencia de Investigación N° 626-2022-UNJ, de fecha 22 de noviembre del 2022, se resuelve **Designar** a los miembros del jurado evaluador del proyecto de tesis denominado "EFICIENCIA DE FITORREMEDIACIÓN CON JACINTO DE AGUA (*Eichhornia Crassipes*) PARA DISMINUIR CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DEL DISTRITO DE SAN JOSÉ DEL ALTO, PROVINCIA DE JAÉN - CAJAMARCA" presentado por el estudiante Edgar Eduardo Oblitas Martínez, de la carrera profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, según detalle:

Miembros del Jurado	
Presidente	Dr. Alexander Huamán Mera
Secretaria	Mg. Candy Lisbeth Ocaña Zúñiga
Vocal	Dr. José Celso Paredes Carranza
Asesor	PhD. Wilfredo Ruiz Camacho

Que, mediante Acta de reunión, de fecha 15 de diciembre del 2022, los miembros del jurado evaluador se reunieron con la finalidad de evaluar el proyecto de tesis denominado "EFICIENCIA DE FITORREMEDIACIÓN CON JACINTO DE AGUA (*Eichhornia Crassipes*)

PARA DISMINUIR CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DEL
DISTRITO DE SAN JOSÉ DEL ALTO, PROVINCIA DE JAÉN – CAJAMARCA", del Bachiller Edgar
Eduardo Oblitas Martínez de la carrera profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental. El presidente del Jurado Evaluador informó que cada miembro del jurado evaluará en forma individual y consignará su decisión (aprobado o desaprobado) en el dictamen. Estando presentes todos los miembros del jurado evaluador y el autor del proyecto de tesis, se procedió a evaluar el informe en mención; de lo cual el

vocal, secretario y presidente dieron sus observaciones las que fueran levantadas oportunamente. El proyecto de tesis fue aprobado por unanimidad.

Que, mediante Informe N°010-2022-UNJ-VPI/CCI/AHM, de fecha 15 de diciembre del 2022, el Dr. Alexander Huamán Mera, en calidad de Presidenta del jurado evaluador, remite a la Comisión Central de Investigación el acta de reunión y dictamen de aprobación del proyecto de tesis "EFICIENCIA DE FITORREMEDIACIÓN CON JACINTO DE AGUA (*Eichhornia Crassipes*) PARA
DISMINUIR CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DEL DISTRITO DE SAN JOSÉ DEL ALTO, PROVINCIA DE JAÉN – CAJAMARCA", presentado por el Bachiller Edgar Eduardo Oblitas Martínez, para continuar con el trámite que corresponda.

Que, mediante Oficio N° 090-2021-CCI-VPI-UNJ, del 19 de diciembre del 2022, el Dr. Manuel
Emilio Milla Pino, Presidente de la Comisión Central de Investigación de la UNJ, solicita a la Vicepresidencia de Investigación la aprobación mediante acto resolutivo del proyecto de tesis "EFICIENCIA DE FITORREMEDIACIÓN CON JACINTO DE AGUA (*Eichhornia Crassipes*) PARA
DISMINUIR CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DEL DISTRITO DE SAN JOSÉ DEL ALTO, PROVINCIA DE JAÉN – CAJAMARCA".

Que, en uso de las atribuciones conferidas en el Estatuto de la Universidad al Vicepresidente de Investigación;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- **APROBAR** el proyecto de tesis denominado "**EFICIENCIA DE FITORREMEDIACIÓN CON JACINTO DE AGUA (*Eichhornia Crassipes*) PARA DISMINUIR CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DEL DISTRITO DE SAN JOSÉ DEL ALTO, PROVINCIA DE JAÉN – CAJAMARCA**" y autorizar la ejecución del mismo.

Autor	Bach. Edgar Eduardo Oblitas Martínez
Asesor	PhD. Wilfredo Ruiz Camacho

ARTICULO SEGUNDO.- **NOTIFICAR**, la presente Resolución a los interesados para su conocimiento y fines pertinentes.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y EJECÚTESE.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
COMISIÓN ORGANIZADORA
Dr. Pedro José Rodenas Seytuque
VICEPRESIDENTE DE INVESTIGACIÓN