

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**Remoción del cromo mediante el uso de dos especies
vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua) y *Eichornia
crassipes* (Jacinto de agua), Ayacucho, 2016 a 2017**

**Tesis para optar el título profesional de
Bióloga, Especialidad: Ecología y Recursos Naturales**

Presentado por:

Bach. Florinda Ataucusi Flores

Asesor:

MS. Elmer Alcides Avalos Pérez

Ayacucho - Perú

2024

A Dios, mis padres Prudencio
Ataucusi y Juana Flores, hermanos,
sobrinos y amigos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por haberme permitido formarme académicamente y profesionalmente, en especial a mi Facultad de Ciencias Biológicas y a todos sus docentes y administrativos, por contribuir en el logro y materialización de mis estudios en la carrera profesional de Biología.

Mi gratitud y consideración a un excelente docente y persona, ejemplo de perseverancia y dedicación a mi asesor MS. Elmer Alcides Avalos Pérez por su orientación y sabios consejos, que han permitido la elaboración y finalización de mi tesis.

Al Blgo. Reynan Cóndor Alarcón, por el apoyo en el procesamiento y análisis estadístico, como asesor externo.

A mis padres, hermanas y toda mi familia por el apoyo incondicional que me brindaron durante mi vida universitaria.

A todos los amigos, por su apoyo técnico y moral que me inculcaron al iniciar con el trabajo de investigación que ahora lo veo culminado.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Marco conceptual	5
2.2.1. Remoción	5
2.2.2. Metales pesados	6
2.2.3. Macrófitas flotantes	6
2.3. Bases teóricas	6
2.3.1. Contaminación del agua	6
2.3.2. Metales pesados y toxicidad	6
2.3.3. Bioquímica del cromo	7
2.3.4. Toxicidad del cromo	7
2.3.5. Esencialidad del cromo en los vegetales	8
2.3.6. Transporte y acumulación de cromo en plantas	8
2.3.7. Cromo hexavalente	9
2.3.8. Cromo trivalente	9
2.3.9. Situación de la contaminación por cromo en Ayacucho	9
2.3.10. Macrófitas acuáticas flotantes	10
2.3.11. Estrategias de respuesta de las plantas a la presencia de metales pesados	11
2.3.12. Mecanismos de tolerancia a metales pesados	11
2.3.13. Quelación de los metales en las plantas	12
2.3.14. <i>Eichornia crassipes</i>	12
2.3.15. <i>Lemna minor</i>	13
2.4. Marco legal	15
III. MATERIALES Y METODOS	17

3.1.	Ubicación de zona de estudio	17
3.1.1.	Ubicación política	17
3.1.2.	Ubicación geográfica	17
3.2.	Descripción de zona de estudio	17
3.2.1.	Zona de vida: Estepa Espinosa-Montano Bajo Subtropical (EE-MBS)	17
3.2.2.	Clima	17
3.3.	Población, muestra y unidad experimental	18
3.3.1.	Población biológica	18
3.3.2.	Muestra biológica.	18
3.3.3.	Población estadística	18
3.3.4.	Muestra estadística	18
3.3.5.	Unidad experimental	18
3.4.	Metodología y recolección de datos	18
3.4.1.	Procedencia de las especies vegetales	18
3.4.2.	Colecta de los especímenes vegetales para el bioensayo	19
3.4.3.	Aclimatación de las especies	19
3.4.4.	Identificación taxonómica de las especies vegetales	19
3.4.5.	Preparación de los bioensayos	20
3.4.6.	Toma de muestra de agua	20
3.4.7.	Transporte y recepción de las muestras de agua	20
3.4.8.	Método de análisis de cromo en la muestra de agua.	20
3.4.9.	Metodología para la identificación de los cambios morfológicos	21
3.5.	Análisis estadístico	21
3.6.	Porcentaje de remoción	21
IV.	RESULTADOS	22
V.	DISCUSIÓN	29
VI.	CONCLUSIONES	33
VII.	RECOMENDACIONES	34
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
	ANEXOS	41

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en la categoría 3 para riego de vegetales y bebida de animales.	16
Tabla 2. Diseño del bioensayo.	20
Tabla 3. Evaluación morfológica de las especies después de la exposición al metal en la solución de dicromato de potasio a las 96 h, Ayacucho 2017.	28

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Morfología externa de la <i>Eichornia crassipes</i> .	13
Figura 2. Morfología externa de la <i>Lemna minor</i> .	14
Figura 3. Promedios de los porcentajes de remoción de cromo a las 24 h empleando <i>Eichornia crassipes</i> = (TA), <i>Lemna minor</i> = (TB) y ambas especies = (TC), Ayacucho 2017.	23
Figura 4. Promedios de los porcentajes de remoción de cromo a las 48 h empleando <i>Eichornia crassipes</i> = (TA), <i>Lemna minor</i> = (TB) y ambas especies = (TC), Ayacucho 2017.	24
Figura 5. Promedio de los porcentajes de remoción de cromo a las 72 h empleando <i>Eichornia crassipes</i> = (TA), <i>Lemna minor</i> =(TB) y ambas especies= (TC), Ayacucho 2017.	25
Figura 6. Promedios de los porcentajes de remoción de cromo a las 96 h empleando <i>Eichornia crassipes</i> = (TA), <i>Lemna minor</i> =(TB) y ambas especies = (TC), Ayacucho 2017.	26
Figura 7. Porcentajes de remoción de cromo empleando <i>Eichornia crassipes</i> , <i>Lemna minor</i> y ambas plantas durante el tiempo de exposición, Ayacucho 2017.	27

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Cálculo para la obtención de 20 ppm de cromo.	42
Anexo 2. Evidencias fotográficas de la metodología.	43
Anexo 3. Fotografías de los cambios morfológicos de las plantas después de la exposición al bioensayo.	48
Anexo 4. Análisis de varianza para 24 h de porcentaje de remoción de cromo.	49
Anexo 5. Análisis de varianza para 48 h de porcentaje de remoción de cromo.	50
Anexo 6. Análisis de varianza para 72 h de porcentaje de remoción de cromo.	51
Anexo 7. Análisis de varianza para 96 h de porcentaje de remoción de cromo.	52
Anexo 8. Prueba Shapiro - Wilks para 24 h.	53
Anexo 9. Prueba Shapiro - Wilks para 48 h.	54
Anexo 10. Prueba Shapiro - Wilks para 72 h.	55
Anexo 11. Prueba Shapiro - Wilks para 96 h.	56
Anexo 12. Prueba F para igualdad de varianza para 24 h.	57
Anexo 13. Prueba F para igualdad de varianza para 48 h.	58
Anexo 14. Prueba F para igualdad de varianza para 72 h.	59
Anexo 15. Prueba F para igualdad de varianza para 96 h.	60
Anexo 16. Resultado de análisis de agua del laboratorio de análisis de suelos, plantas y fertilizantes.	61
Anexo 17. Resultado de análisis de agua del laboratorio de análisis de suelos, plantas y fertilizantes.	62
Anexo 18. Protocolo del método por espectrofotometría por absorción atómica para cromo.	63
Anexo 19. Constancia de identificación taxonómica de la especie <i>Lemna minor</i> .	64
Anexo 20. Constancia de identificación taxonómica de la especie <i>Eichornia crassipes</i> .	65
Anexo 21. Matriz de consistencia.	66

RESUMEN

Los metales pesados se consideran uno de los contaminantes más tóxicos en el ambiente, siendo el cromo uno de los metales pesados nocivos para la salud humana por su persistencia y toxicidad, en la ciudad de Ayacucho, este metal se presenta en actividades de manufactura, curtido de cuero, ebanistería, fotocopiadoras, soldaduras y laboratorios, generando residuos que son descargados a los cuerpos de agua, el uso de plantas para remover metales pesados es un tecnología limpia y se pueden emplear en diferentes medios como agua, suelo y sedimento. El trabajo de investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar la capacidad de remoción de cromo de dos especies vegetales: *Lemna minor* y *Eichornia crassipes*, para este bioensayo se utilizó tres tratamientos TA= *Eichornia crassipes*, TB= *Lemna minor* y TC= *Eichornia crassipes* + *Lemna minor*, estas fueron sembradas en solución de dicromato de potasio a una concentración de 20 ppm de cromo, se utilizaron 9 recipientes de polietileno con capacidad de 6 L. Las especies vegetales utilizadas en este bioensayo fueron extraídas de su medio natural para luego ser trasladadas al laboratorio, aclimatándose a condiciones de laboratorio con 11 h 40 min de luz por 14 días, adicionándose solución hidropónica A y B. Cada unidad experimental se conformó por *Eichornia crassipes* y *Lemna minor* en 6 L de solución de dicromato de potasio, el muestreo del agua para el análisis de cromo se realizó a las 24, 48, 72 y 96 h, se tomó un 400 mL de muestra de agua de cada unidad experimental en envases de polietileno correctamente identificados y rotulados, añadiendo un preservante de HNO₃ (1:1), refrigerándose para posteriormente ser enviadas al laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, el método usado por el laboratorio para detectar el cromo en el agua fue espectrofotometría por absorción atómica. De acuerdo con los resultados de laboratorio, se obtuvieron los siguientes porcentajes de remoción de cromo en los tres tratamientos durante el tiempo de exposición, *Eichornia crassipes* 34,67%, *Lemna minor* 33,17% y *Eichornia crassipes* + *Lemna minor* 32,17%, la máxima remoción del cromo se dio a las 24 h con remociones de *Eichornia crassipes* 31,67%, *Lemna minor* 32,75% y *Eichornia crassipes* + *Lemna minor* 33,33%, de igual forma, las remociones de cromo a las 48, 74 y 96 h fueron constantes y mínimas. El análisis de varianza al 95% de confiabilidad demuestra que no hay diferencia significativa entre los tratamientos, por lo tanto, los especímenes vegetales *Lemna minor* y *Eichornia crassipes* tienen similares capacidades de remoción del cromo en los tiempos de exposición.

Palabras clave: remoción, cromo, *Lemna minor* y *Eichornia crassipes*.

I. INTRODUCCIÓN

La industrialización y el impacto de las actividades antropogénicas liberan al ambiente diversos metales pesados peligrosos que deponen residuos extremadamente nocivos para el ser vivo. En la industria el cromo es uno de los metales más usados, que se ha convertido en un contaminante grave en diversos entornos ambientales tales como los ríos y otros ambientes acuáticos, la alta exposición al cromo (VI) puede causar dolor epigástrico, náuseas, vómitos, diarrea intensa y considerarse un agente cancerígeno (Xiaojing et al., 1993).

El presente trabajo de investigación surge del interés de conocer la capacidad de las especies *Lemna minor* y *Eichornia crassipes* para remover metales pesados en el medio líquido y destacar la eficiencia de estas especies vegetales para mejorar el deterioro de la calidad del agua y por ende reducir los problemas ambientales, sociales y económicos (Novotny, 1995).

La contaminación con el cromo en la ciudad de Ayacucho tiene un impacto negativo, al usarse para riego las aguas residuales tratadas por la planta de tratamiento de aguas residuales de totora, en plantas de tallos cortos, el riego continuo con este efluente llega a bioacumular metales pesados en las hortalizas de consumo humano (Córdova, 2019). Asimismo, son mínimas las investigaciones sobre el cromo en la ciudad de Ayacucho.

Esta investigación es de naturaleza básica experimental, donde se evaluaron las variables de causa y efecto al utilizar plantas vegetales en la disminución de la concentración del cromo en el agua.

La importancia reside en generar conocimiento sobre la capacidad de las plantas para remover y extraer metales pesados, no solo el cromo sino otros como el plomo, arsénico, mercurio, que están presentes en el agua. Debido a que no se tienen estrategias para reducir los metales pesados, ya sea por el elevado costo y manipulación, los mecanismos fisiológicos de la *Eichornia crassipes* y *Lemna*

minor para resistir, tolerar y sobrevivir en medios terrestres y/o acuáticos con altos contenidos de metales pesados son antecedentes para trabajar con ello.

Siendo los objetivos planteados para el desarrollo de esta investigación los siguientes:

Objetivo general

Evaluar la remoción de cromo en el agua mediante el uso de especies vegetales como la *Lemna minor* (Lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua).

Objetivos específicos

1. Establecer la capacidad de remoción de cromo por la *Lemna minor* (Lenteja de agua).
2. Establecer la capacidad de remoción de cromo por la *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua).
3. Comparar la efectividad de los diferentes tratamientos en la remoción del cromo.
4. Identificar los cambios morfológicos de las especies vegetales durante el tratamiento.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Utilizando una metodología experimental con *Eichornia crassipes* en San Benito, Bogotá, investigaron la capacidad del *Eichornia crassipes* para remover el cromo de la solución acuosa, obteniendo remociones de 33% a las 48 h, y disminuyendo constantemente hasta estabilizarse después de 24 días de tratamiento (Carreño, 2016), 29,33% de remoción de cromo se dio a las 24 h con *Eichornia crassipes* (Benítez et al., 2011), 22% de remoción de cromo con *Eichornia crassipes* a las 4 h y después se volvió constante (Mohanty, 2005). Por otra parte, Abril (2016) comparó las remociones del cromo hexavalente utilizando dos ambientes físicos, terrestre y acuático y dos especies *Eichornia crassipes* y *Medicago sativa*, utilizando una metodología experimental, las plantas se trasplantaron a un medio terrestre con una concentración de 0,28 mg/kg de cromo hexavalente y en el medio acuático con una concentración de 2,01 mg/L de cromo hexavalente. Los resultados mostraron que la remoción en medio acuático tiene una mayor eficiencia, removiendo 99% del cromo hexavalente, mientras que en el medio terrestre la remoción fue de 92,85%, *Eichornia crassipes*, acumuló 86,06% del metal dentro de sus tejidos, mientras que *Medicago sativa* asimiló el 67,85%, hallándose remociones de cromo con *Eichornia crassipes* de un 99% durante 60 días.

Andrade et al.,(2020) evaluaron el porcentaje de remoción de cromo de dos especies vegetales, *Pistia stratiotes* y *Eichornia crassipes*, expuestas a un efluente sintético de cromo en condiciones de laboratorio, para determinar cromo (VI) cada 24 h, durante diez días, con resultados para *Eichornia crassipes* de 98% de remoción de cromo al finalizar el tratamiento.

Velarde et al., (2013) evaluaron la absorción de cromo (VI) utilizando *Eichornia crassipes*, sometidas a una prueba piloto en un efluente de curtiembre con

dicromato de potasio a diferentes niveles de concentración 10 ppm, 25 ppm y 50 ppm por un tiempo de nueve semanas mediante hidroponía, los resultados demostraron que las remociones de cromo (VI) del agua disminuyeron proporcionalmente con el tiempo, alcanzando niveles del 36%, 34,4% y 42,8% respectivamente.

Benítez et al., (2011) demuestran la relación directa de acumulación del metal, que indican que, a medida que sube los niveles de concentración del metal en el medio, aumenta la acumulación en los tejidos de la planta, y mientras que el tiempo de exposición es mayor, la concentración en los tejidos de la planta disminuye.

La *Eichornia crassipes* presentan cambios morfológicos al estar expuestas al cromo presentando signos de marchitamiento en los primeros días de exposición, luego comenzando a marchitarse después de los cuatro días, llegando a casi 70% de marchitamiento después de los ocho días (Medina et al, 2019).

Vicente, (2023) en su tesis de investigación realizada en la capital de Lima tuvo como objetivo, analizar la aptitud de remediación de dos especies *Pistia stratiotes* y *Eichornia crassipes* en la remoción de cromo hexavalente, utilizando una metodología que consistió en recipientes de 1 L, conteniendo solución de cromo hexavalente, realizadas en laboratorio y nutridas con solución hidropónica, se expusieron a diferentes concentraciones de cromo hexavalente 2, 5, 10 y 100 ppm por un tiempo de 15 días. Los resultados con *Eichornia crassipes* fueron de 95,66% y 99,82% para 5 y 10 ppm respectivamente y el porcentaje de marchitamiento fluctuó entre 30 y 70%.

De manera similar, *Eichornia crassipes* demostró ser eficaz en la separación de plomo (II), alcanzando una tasa de remoción del 86,95% en un ambiente acuático experimental (Baldeón et al., 2017). Poma & Valderrama, (2014) determinaron la capacidad de absorción de los iones metálicos cadmio (II) y mercurio (II) en *Eichornia crassipes*, comenzando con una concentración inicial de 5 mg/L del metal pesado disuelto en 1 L de solución acuosa, en el tiempo de 7 días de evaluación se tuvo remociones de 16,56% para cadmio (II) y 15,6% para mercurio (II) (Kaustubha et al., 2006).

Por un lado, investigaciones para el espécimen *Lemna minor* sobre la efectividad de absorción de metales como cadmio y cobre, determinaron en el muestreo de agua contaminada cada 7, 14, 21 y 28 días, obteniendo resultados para cadmio 64,28% y cobre 30% a los siete días; 80,36% y 46,42% a los 14 días; 96,96% y

82,14% a los 21 días; 99,21% y 93,21% a los 28 días respectivamente, teniendo una alta efectividad para el cadmio al obtener un 99,21% de absorción a diferencia del cobre (Montenegro, 2021).

Mientras que Gómez et al., (2014) estudiaron las especies *Lemna gibba*, *Salvinia mínima* y *Azolla filiculoides* a diferentes niveles de concentración de cromo, obteniendo como resultados que las tres especies demostraron una alta tolerancia a las concentraciones del metal expuesto y una alta capacidad de absorción de cromo, la tasa de asimilación más alta se registró a las 24 h, disminuyendo en el tiempo, posiblemente a la toxicidad en la planta, concluyéndose que siete días de exposición al metal es suficiente, y que un tiempo adicional de exposición no es necesario, ya que el tejido de la planta alcanza su punto de saturación de acumulación del metal pesado.

Por otra parte, se evidencia la necesidad de cosechar este material vegetal para impedir que el metal pesado regrese al medio ambiente (Gómez, 2017).

Zayed et al.,(1998) señalan la amplitud de *Lemna minor* L., para almacenar metales pesados como cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y selenio, expuestas a concentraciones de cadmio, sulfato, cromato de potasio, sulfato de cobre, nitrato de plomo, sulfato de níquel y selenito, con tres grupos replicados expuestos durante ocho días, los resultados manifiestan que, bajo condiciones experimentales la *Lemna minor* demostró una alta capacidad para acumular cadmio, selenio y cobre, una capacidad moderada para acumular cromo y una capacidad baja para acumular níquel y plomo, asimismo mostró algunos síntomas de toxicidad (crecimiento reducido y clorosis) en niveles más altos de suministro de elementos (excepto cromo). El efecto de toxicidad de cada oligoelemento sobre el crecimiento de las plantas fue en orden descendente de daño, Cu > Se > Pb > Cd > Ni > Cr. Se infiere que *Lemna minor* es una especie prometedora para la eliminación de Cd, Se y Cu en aguas residuales contaminadas.

Sandoval, (2019) indicó que el principal cambio morfológico observado en *Eichornia crassipes* y *Lemna minor* L. durante una experimentación de nueve días, fue la variación en el color, demostrándose que *Eichornia crassipes* tiene una eficiencia de remoción de cadmio del 83,57%, y *Lemna minor* L. muestra una eficiencia de 39,35%.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Remoción

Es un proceso en donde las partículas son separadas y llevadas a otro lugar, o modifican la situación o condición de un organismo (Pérez & Merino, 2012).

2.2.2. Metales pesados

Son elementos que tienen sus propias características como propio número atómico superior a 20, y una densidad relativamente elevada, siendo tóxicos y venenosos en bajas concentraciones, presentando efectos adversos para los seres humanos (Mejía, 2006).

2.2.3. Macrófitas flotantes

Se caracterizan por tener hojas en la superficie y las raíces, pueden estar fijadas al fondo o suspendidas en la columna de agua y habitan en ambientes acuáticos (Vanegas et al., 2021).

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Contaminación del agua

La contaminación del agua es cualquier cambio químico, físico o biológico en la calidad del agua que afecta negativamente a cualquier organismo que la consuma, así mismo, la contaminación del agua es un cambio inducido por el hombre en la calidad del agua, haciéndola inadecuada o peligrosa para su consumo, y para las actividades como la industria, agricultura, pesca, ganadería y recreativo. Siendo las fuentes de mayor contaminación, los desechos domésticos, efluentes industriales, escurrimientos de la tierra labrada, deposición atmosférica y la filtración de las operaciones de las minas y rellenos sanitarios (Consejo de Europa, 1968).

2.3.2. Metales pesados y toxicidad

No existe una definición científicamente puntual sobre los metales pesados, una definición usual se basa en la densidad específica, refiriéndose a metales con una densidad superior a 5 g/cm³ en su manera elemental, o aquellos que presentan un número atómico superior a 20, estos suelen ser elementos de transición en la tabla periódica (Ramos, 2009).

Los metales pesados poseen diversas propiedades fisicoquímicas y biológicas, que pueden encontrarse en forma iónica libre, formando complejos o participando en reacciones de oxido-reducción, lo cual puede ser latentemente tóxico para un ser vivo (Marrero et al, 2010; Lucho et al, 2005).

Nestor & Esposito, (2010) indican que el cromo es fundamental para el crecimiento de microorganismos, plantas y mamíferos ya que desempeñan un papel muy importante en varias reacciones bioquímicas que son esenciales para su crecimiento y desarrollo. No obstante, cuando los metales pesados se presentan en altos niveles de concentración, logran establecer compuestos inespecíficos estableciendo consecuencias citotóxicos y letales para el organismo del ser vivo.

Garbisu, (2003) manifiesta que los metales pesados tienen una acción tóxica en los seres vivos porque bloquean las actividades biológicas, inactivando las enzimas y ocasionando daños no reversibles en los organismos estableciendo enlaces entre el metal, los grupos sulfhidrilos (-SH), y los demás grupos funcionales de las proteínas y enzimas, trasladando otros iones metálicos o alterando la constitución activa de las moléculas biológicas. Existen estrategias biológicas de inmovilizar o transformar el metal en el mismo lugar, como los microorganismos y las plantas, lo que puede disminuir su biodisponibilidad (Rajendran et al., 2003).

2.3.3. Bioquímica del cromo

El cromo se considera un elemento químico, clasificado como un metal de transición, con número atómico 24, masa atómica 51,996 g/mol y símbolo (Cr). Perteneciente al grupo seis de la tabla periódica, y es el sexto elemento más abundante en la corteza terrestre, donde se encuentra como óxido (Cr_2O_3) y mezclando hierro con oxígeno forman el mineral cromita (Rayner, 2000).

El cromo se lo halla como componente de numerosos minerales, siendo la cromita [cromito de hierro (II), $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$] el más abundante al no encontrarse en estado libre en la naturaleza. El óxido de cromo (III) se obtiene al tener contacto con el calor y en metalurgia se obtiene ferrocromo por disminución de la cromita. En la corteza terrestre el cromo se halla con valencias positivas de dos y seis, generalmente se le encuentra como cromo trivalente y hexavalente, cromo metálico, ion crómico; siendo lo más constante el cromo trivalente. Entre los compuestos más significativos del cromo hexavalente se halla el cromato, el dicromato sódico, el dicromato potásico y el trióxido de cromo, capaces de diluirse fácilmente en el agua (Alvarado & Martínez, 2013).

2.3.4. Toxicidad del cromo

“La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), clasificó al cromo hexavalente y sus compuestos en el Grupo I de sustancias cancerígenas, considerado como elemento tóxico y científicamente comprobado, un agente cancerígeno para el ser humano” (Téllez et al., 2004, p. 3).

La nocividad del cromo depende de su estado de oxidación; siendo el cromo trivalente no perjudicial para los seres humanos en bajas concentraciones, a diferencia del cromo hexavalente que sí es tóxico y cancerígeno. En el agua potable las concentraciones de cromo suelen ser menores a 2 $\mu\text{g/L}$, aunque se han visto niveles de hasta de 120 $\mu\text{g/L}$. Generalmente, los alimentos son la

principal fuente de ingesta de este elemento. El cromo trivalente rara vez se encuentra en un agua potabilizada, pero lamentablemente en el agua potable, el cromo hexavalente es el elemento que prevalece (Jiménez, 2001).

2.3.5. Esencialidad del cromo en los vegetales

A pesar de ser un elemento esencial para los animales y el hombre, el cromo hasta el momento no ha demostrado que sea esencial para las plantas, en numerosos estudios se ha observado un estímulo del crecimiento de las plantas por concentraciones bajas de este elemento. Sin embargo, no ha podido ser demostrada la participación del cromo en ningún proceso vital (Huffman & Allaway, 1973). En la actualidad, parece más probable que el aumento de rendimiento observado ocasionalmente en plantas tratadas con bajas concentraciones de cromo sea debido a efectos beneficiosos indirectos, entre los cuales destacan el probado efecto antifúngico del cromo y el posible efecto del cromo sobre la disponibilidad de nutrientes esenciales en cultivos en suelo (Huffman & Allaway, 1973).

2.3.6. Transporte y acumulación de cromo en plantas

Hay resultados discordantes con respecto a qué forma de cromo es absorbida y acumulada por las plantas, la interconversión de diferentes formas de cromo es demasiado frecuente en suelos y medios hidropónicos durante experimentos a largo plazo, lo que dificulta los análisis. En estudios con frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.) no se detectaron diferencias en la absorción de cromo (III) o cromo (VI) (Allaway, 1973). En siete de cada diez especies de cultivos analizadas, se acumuló más cromo cuando las plantas se cultivaron con cromo (VI) que con cromo (III) (Zayed et al., 1998). Al incubar plántulas de cebada con cromo (III) o CrO_4^{2-} , se encontró un mayor contenido de cromo en los brotes cuando se suministraron como CrO_4^{2-} , lo que sugiere que el cromo es transportado en gran parte por la xilema. El CrO_4^{2-} se mueve más rápido en la xilema que el cromo (III) presumiblemente porque este último es sostenido por la interacción electrostática con las paredes de los vasos, como sucede con el calcio (II) (Skeffington et al., 1976). Surgieron resultados controvertidos de experimentos cuando las plantas se cultivaron con cromo (III) o cromo (VI) y solo se encontró la forma cromo (III) en sus tejidos (Zayed et al., 1998). Estos datos proponen que el cromo (VI) se transforma en cromo (III) principalmente dentro de las células de la raíz, pero también en la parte aérea de la planta.

2.3.7. Cromo hexavalente

El cromo hexavalente es un elemento tóxico que provoca dermatitis y tiene un efecto mutagénico y cancerígeno, perjudicando los órganos de los seres humanos (hígado, pulmones y riñones). La inhalación de niveles elevados (superiores a 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de cromo hexavalente presentes en compuestos como el ácido crómico o el trióxido de cromo hexavalente, pueden provocar irritación en la nariz, estornudos, picazón, hemorragias nasales, úlceras. Su toxicidad se atribuye a su potencial de oxidación y a su pequeño tamaño, siendo esta característica para permitirles penetrar a las membranas biológicas en forma de cromato o dicromato y oxidarlas. Los compuestos de cromo no tienen sabor ni olor, lo que hace imposible detectarlos en el entorno a través de los sentidos (Montauban, 2013).

2.3.8. Cromo trivalente

El cromo (III) es relativamente inofensivo porque son insolubles y no pueden atravesar las membranas biológicas. Sin embargo, en niveles altos de concentración pueden presentar los mismos efectos tóxicos que los de los compuestos de cromo (VI) (Wong & Trevors, 1988). El cromo (III) se considera un oligoelemento principal para un adecuado funcionamiento en el sistema de los mamíferos, se encarga del control del metabolismo de la glucosa y los lípidos en los seres vivos en específico en los mamíferos (Anderson, 1988). Esta hipótesis fue respaldada por el descubrimiento del denominado factor de tolerancia a la glucosa (CrGTF), que incluye al cromo (III) y otros compuestos como ácido nicotínico, glicina, ácido glutámico y cisteína (Nieboer & Jusys, 1988).

2.3.9. Situación de la contaminación por cromo en Ayacucho

En la ciudad de Ayacucho existe poco interés en las investigaciones sobre el registro de presencia de metales pesados como el cromo en los afluentes y efluentes de nuestra ciudad, existen actividades como la manufactura, curtiembre, ebanistería, fotocopadoras, soldaduras y laboratorios químicos como los de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, todos ellos generan factores de riesgo para la salud humana.

Arones, (2011) indica que los niveles de concentración de cromo en los afluentes del río Alameda varían de acuerdo a las estaciones de lluvia y estiaje, teniendo un nivel de concentración elevada de cromo en la temporada donde el caudal es mínimo, para el año 2008 tuvo una concentración máxima de 0,0275 mg/L, y una concentración exigua de 0,0010 mg/L; para el año 2009 la concentración máxima dada fue 0,0192 mg/L y como mínima de 0,0003 mg/L. En el vertido de las aguas

tratadas por la PTAR de Totorá, obtuvieron resultados un máximo de concentración de cromo de 0,0340 mg/L y un mínimo 0,0039 mg/L en la época de estiaje.

Investigaciones sobre el vertido de las aguas tratadas por la planta de tratamiento de aguas residuales de Totorá sobre la los LMP o VMP presentes en las hortalizas con metales pesados en la comunidad de Totorá, demostraron niveles de cromo y plomo en rabanito; cadmio y cromo en espinaca y cromo en lechuga por encima de los límites máximos permisibles (Córdova, 2019). Asimismo, no se tienen mayores investigaciones sobre el cromo en la ciudad de Ayacucho.

2.3.10. Macrófitas acuáticas flotantes

Son aquellas plantas que crecen asociadas a los ambientes acuáticos, o al menos están presentes en el suelo y están cubiertos con agua, tienen la capacidad de remover y bioacumular diferentes tipos de contaminantes como los metales pesados presentes en el medio acuático, por lo que se les considera muy útiles en la biorremediación (Gaibor & Jolley, 2022)

Clases de macrófitas acuáticas

a) Macrófita emergente: La morfología reproductiva se encuentra en la zona aérea, con la parte superior extendiéndose hacia arriba, mientras sus raíces están encubiertas en el sedimento teniendo como ejemplos: el carrizo (*Phragmites communis*), el tule (*Thypha domingensis*) y el platanillo (*Sagittaria latifolia*) (Vanegas et al., 2021).

b) Macrófita flotante: Presentan hojas en la parte aérea y sus raíces pueden estar fondeadas al fondo o suspendidas en la superficie, se dividen en dos grandes grupos:

- **Plantas no fijas:** Se caracterizan por que sus raíces se encuentran no fijadas en ningún tipo de sustrato sino suspendidas en la columna de agua, además, sus órganos reproductores, tallos y hojas siempre sobrenadan por encima del agua. Ejemplos: lenteja de agua (*Lemna spp*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) (Vanegas et al., 2021).
- **Plantas fijas:** En este tipo de plantas se caracterizan porque sus raíces se encuentran ancladas en el sedimento y sus hojas flotan en la superficie. Ejemplos: los nenúfares (*Nymphaea elegans* y *Nymphoides fallax*) (Vanegas et al., 2021).

c) Macrófita Sumergida: Se caracterizan porque sus órganos reproductores pueden estar bajo el agua, emergiendo o flotando, además, crecen

completamente sumergidos o debajo de la superficie del agua. Por ejemplo, la hidrilla (*Hydrilla verticillata*) pastos (*Phyllospadix torreyi*) y bejuquillo (*Ceratophyllum demersum*) (Vanegas et al., 2021).

2.3.11. Estrategias de respuesta de las plantas a la presencia de metales pesados

Este tipo de especies vegetales poseen distintas estrategias de respuesta ante la presencia de elementos nocivos como los metales pesados y otros contaminantes (Reed & Gadd, 1990). Entre estas estrategias se encuentran la exclusión, mineralización, reducción, solubilización, acumulación, quelación y translocación (Salt, 1995; Lytle et al., 1990).

Se presentan mecanismos pasivos y activos, los pasivos se caracterizan por la adsorción por exclusión, mientras que los mecanismos activos, requieren energía metabólica para los procesos de acumulación, translocación o relocalización. La translocación implica una alteración en el patrón de compartimentalización del metal, por lo que las plantas transfieren el exceso del metal a las hojas maduras, mientras que otras impiden el traslado del metal desde la raíz hasta el tallo. El orgánulo como la vacuola juega un papel crucial en el almacenamiento de los metales en su interior, transportando activamente los iones metálicos al interior del tonoplasto como complejos metal - molécula quelante e iones libres (Moreno, 1999).

2.3.12. Mecanismos de tolerancia a metales pesados

Las estrategias de tolerancia de las especies vegetales hacia los metales pesados incluyen mecanismos como la exclusión, mineralización, reducción, solubilización, quelación, redistribución y acumulación, desarrolladas para tolerar a la exhibición de los metales pesados y estas se modifican de acuerdo a las especies, y dependiendo a la clase de metal.

Se tienen tres fases para el proceso de acumulación de metales pesados y son las siguientes (Delgadillo et al., 2011).

Fase I: La captación se realiza a través de la raíz, es el tejido encargado del ingreso de los metales pesados, en este proceso se crea un equilibrio dinámico que facilita el movimiento hacia el interior de la célula, en el que los metales pesados son transportados al interior de la planta y posteriormente al interior de la célula.

Fase II: En el interior de la planta, los metales pesados son raptados o acomplejados al unirse a ligandos. Los primordiales quelantes que originan las

plantas son dos tipos de péptidos las fitoquelatinas y las metaloteínas los ácidos orgánicos y ciertos aminoácidos.

Fase III: Esta fase se caracteriza porque en el interior de la célula se realiza la compartimentalización y detoxificación, el complejo ligando - metal formado en la fase II y se almacena en la vacuola.

2.3.13. Quelación de los metales en las plantas

El proceso de quelación se refiere a la capacidad de una molécula para la formación de un complejo con un metal, formando complejos con propiedades químicas únicas distintas a la del original. Así mismo la quelación se denomina como un proceso homeostático, donde se implican dos tipos de moléculas, una de ellas presenta una función transportadora, encargada de transferir iones metálicos específicos a organelos particulares como las vacuolas, cloroplastos y las mitocondrias que los exigen y teniendo como segunda molécula a los ligandos que se caracterizan por su alta afinidad, teniendo a las fitoquelatinas, las metalotioneinas, los ácidos orgánicos, las proteínas de estrés térmico y los aminoácidos, que contribuyen a la desintoxicación y a mantener una constante concentración de iones metálicos en el citosol (Clemens, 2001).

2.3.14. *Eichornia crassipes*

a) Clasificación taxonómica

Cronquist, (1988) proporciona la clasificación en

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Liliopsida
Orden	: Commelinales
Familia	: Pontederiaceae
Género	: <i>Eichornia</i>
Especie	: <i>Crassipes</i>
Nombre científico	: <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms.
Nombre común	: Jacinto de agua

b) Descripción

Elorza et al., (2004) describe al jacinto de agua como una planta hidrófito flotante y herbáceo, con numerosos estolones que generan raíces fibrosas en los nudos, con hojas dispuestas en rosetas y presentan peciolo ensanchados en forma de balón atiborrado de aire para facilitar la flotación, con limbos en forma suborbiculares a anchamente elípticos de hasta 15 x 15 cm. Presentan inflorescencias con espigas terminales con un número de 10 a 30 unidades,

mantenidas por un vigoroso pedúnculo con espata, cuya base suele estar cercada por una reducida hoja ensanchada. La floración presenta una coloración malva o lila, con un periantio ligeramente bilabiado de 4 a 6 cm de longitud y ancho. El androceo tiene seis estambres, los tres superiores están incluidos en el periantio y los tres inferiores son exertos, las anteras son oblongas y basifijas, los filamentos están discontinuamente soldados al periantio, el ovario es trilocular y el fruto es una cápsula membranosa con tres lóculos que contienen cuantiosas semillas de 3 a 450 unidades en su interior.

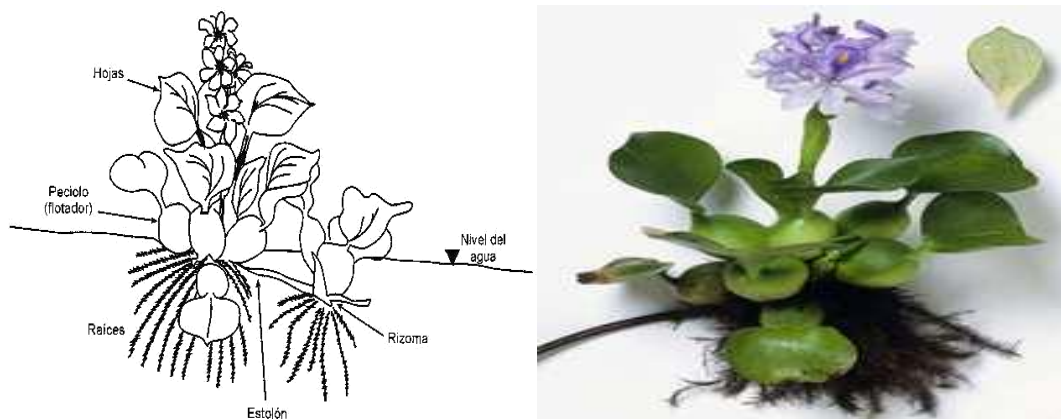


Figura 1. Morfología externa de la *Eichornia crassipes*.

Fuente: Jaramillo et al., (2012)

c) Potencial fitorremediador

Benítez et al., (2011) afirman que en condiciones de pH neutro y con una exposición a una concentración de 90 mg/L de cromo, la *Eichornia crassipes* acumuló cantidades significativas de este metal, logrando hasta 67,3 mg Cr/g de biomasa seca. Este valor es notablemente alto en comparación respecto a lo reportado en las literaturas al utilizar la misma especie y el mismo tipo de metal pesado. Los niveles de concentración de cromo acumulado acrecentaron en el rango de 30 a 90 mg/L con relación a la concentración inicial, a la que se expuso el *Eichornia crassipes* y a su vez alcanzó una acumulación máxima a las 24 h. La dinámica de acumulación en las partes de la planta como los tallos, hojas y raíces puede variar con el tiempo. Después de 360 h de exposición, la cantidad de cromo acumulado en los tallos y hojas es estadísticamente similar al cromo acumulado en la raíz, aunque inicialmente la mayor acumulación se da en las raíces y posteriormente distribuidas a las demás partes de la planta.

2.3.15. *Lemna minor*

a) Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica sistema propuesto por Cronquist, (1988).

Reino	: Vegetal
División	: Magnoliophyta
Clase	: Liliopsida
Orden	: Arales
Familia	: Lemnaceae
Género	: <i>Lemna</i>
Especie	: <i>minor</i>
Nombre científico	: <i>Lemna minor</i> (L.) Griff
Nombre común	: Lenteja de agua

b) Descripción

Lemna minor se caracteriza por ser una planta angiosperma, monocotiledónea, que pertenece a la familia Lemnaceae. Su cuerpo vegetativo presenta un aspecto taloide, lo que significa que entre el tallo y las hojas no se diferencian entre sí, se basa en una estructura plana y verde con una sola raíz delgada de color blanco, presenta un tamaño muy pequeño, midiendo entre 2 y 4 mm de longitud y 2 mm de ancho. *Lemna minor* es una planta monoica, con flores unisexuales, las flores masculinas presentan un solo estambre y las flores femeninas contienen un pistilo formado por un único carpelo, no posee periantio. El fruto integra de 1 a 4 semillas, pueden crecer en un amplio rango de temperaturas, variando entre 5°C y 30°C, presentando un crecimiento óptimo entre los 15°C y 18°C. Se adecua a diversas condiciones de luminosidad y se desarrolla vertiginosamente en aguas tranquilas y ricas en materia orgánica, con altos niveles de nitrógeno y fosfatos. El hierro suele ser un elemento limitante para su desarrollo apropiado, además logran tolerar un amplio rango de pH, siendo el óptimo entre 4,5 y 7,5 (Arroyave, 2004, p.34-35).

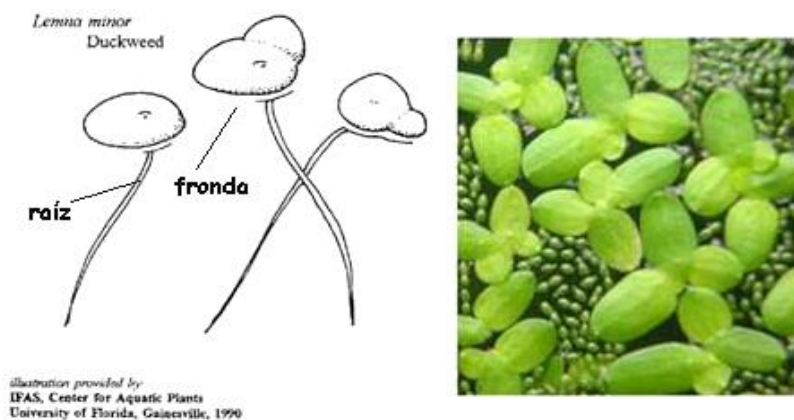


Figura 2. Morfología externa de la *Lemna minor*.

Fuente: Jaramillo et al, (2012)

c) Potencial fitorremediador

Zayed et al, (1998) investigaron el potencial de *Lemna minor* para acumular metales como cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y selenio. Demostrando valores que, bajo condiciones experimentales de laboratorio, *Lemna minor* es considerado un buen acumulador de cadmio, selenio y cobre, un acumulador moderado de cromo y un pobre acumulador de níquel y plomo. Se concluye que *Lemna minor* posee un gran potencial para la remoción de cadmio, selenio y cobre sobre las aguas residuales contaminadas, ya que pueden almacenar altas concentraciones de estos metales, y por su vertiginosa propagación la convierte en una planta adecuada para actividades de fitorremediación.

2.4. Marco legal

Para el desarrollo del trabajo de investigación se ha tenido en cuenta la normativa peruana siguiente:

- Ley de recursos hídricos (Ley N° 29338) y su reglamento (Decreto Supremo N° 001-2010-AG).

“La vigilancia y fiscalización del agua: La Autoridad Nacional en coordinación con el Consejo de Cuenca, en el lugar y el estado físico en que se encuentre el agua, sea en sus cauces naturales o artificiales, controla, supervisa, fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y las disposiciones y programas para su implementación establecidos por autoridad del ambiente” (Ley de recursos hídricos, 2009, Artículo 76).

“Vertimiento de agua residual: La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP)” (Ley de recursos hídricos, 2009, Artículo 79).

“Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente” (Estándares nacionales de calidad ambiental para el agua, 2005, artículo 31).

Tabla 1. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en la categoría 3 para riego de vegetales y bebida de animales.

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FISICO - QUIMICO				
Aceites y grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(μS/cm)	2500		5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ N) + Nitritos (NO ₂ N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de hidrogeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1000		1000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24

Nota: Las leyendas que se encuentran son *** = Dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta subcategoría, "(a) = Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)", "(b) = Después de la filtración simple", "(c) = Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano)", con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{cloroformo}}}{E_{CA\text{cloroformo}}} + \frac{C_{\text{dibromoclorometano}}}{E_{CA\text{dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{bromodichlorometano}}}{E_{CA\text{bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{bromoformo}}}{E_{CA\text{bromoformo}}} \leq 1$$

"Dónde: C = Concentración en mg/L y ECA: Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano)"

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de zona de estudio

El bioensayo se efectuó en los laboratorios de Ecología y Control Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, durante los meses diciembre del 2016 a abril del 2017, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

3.1.1. Ubicación política

Departamento: Ayacucho

Provincia : Huamanga

Distrito : Ayacucho

3.1.2. Ubicación geográfica

Este : 584406,67 m

Norte : 8546636,24 m

Altitud : 2791 m.s.n.m

3.2. Descripción de zona de estudio

3.2.1. Zona de vida: Estepa Espinosa-Montano Bajo Subtropical (EE-MBS)

La caracterización de esta zona de vida es la distribución en la fracción media de las vertientes occidentales y en ciertos valles interandinos, a una altitud de 2000 a 3100 m.s.n.m. El relieve se caracteriza por ser predominantemente escarpado, abarcando laderas y paredes de los valles interandinos. Como especies indicadoras de esta zona se tienen a la “tuna”, “chamana” y “molle”, las cuales se encuentran en áreas que no presentan mucho frío y entre las gramíneas predominan algunos géneros como la Stipa, Melica, Adropogon, Eragrostis y Penisetum (INRENA, 1995).

3.2.2. Clima

Según la clasificación de Thornthwaite (SENAMHI- Perú, n.d.), el lugar de estudio presenta un clima semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado C (r) B'.

3.3. Población, muestra y unidad experimental

3.3.1. Población biológica

Especímenes de *Lemna minor* (Lenteja de agua) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Socos y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) de las orillas del río Huatatas - Ayacucho.

3.3.2. Muestra biológica

Constituida por 20 especímenes de *Eichornia crassipes* y 500 gr de especímenes de *Lemna minor* (Supo, 2014).

3.3.3. Población estadística

La población estadística estuvo conformada por el total de las unidades experimentales ($N = 9$).

3.3.4. Muestra estadística

La muestra fue de 3 unidades experimentales (repeticiones)

3.3.5. Unidad experimental

- Tratamiento A: 2 especímenes de *Eichornia crassipes* + 20 ppm de cromo + 6 L de agua declorada en un recipiente de 30 cm x 13 cm x 15 cm.
- Tratamiento B: 30 g de *Lemna minor* + 20 ppm de cromo + 6 L de agua declorada en un recipiente de 30 cm x 13 cm x 15 cm.
- Tratamiento C: 1 espécimen de *E. crassipes* + 15 g. de *Lemna minor* + 20 ppm de cromo + 6 L de agua declorada en un recipiente de 30 cm x 13 cm x 15 cm.

Las unidades experimentales se basaron en la metodología de Jaramillo, (2012) para la especie *Lemna minor*, así como el diseño experimental del bioensayo se basó en criterios de Abril, (2016) y Arenas, et al., (2011) en el que consideraron lo siguiente, caudal del agua en la que habita el espécimen *Eichhornia crassipes*, su cultivo en recipientes que requieren una profundidad mínima de 15 a 20 cm, tomando en cuenta el área y el diámetro de las especies, sus peciolos, raíces y hojas, así mismo la densidad de cultivo como referencia es de 15 plantas en 0,24 m², debido a sus características morfológicas, estas plantas se desplazan en el medio acuático.

3.4. Metodología y recolección de datos

3.4.1. Procedencia de las especies vegetales

a) *Eichornia crassipes*

La procedencia de esta especie fue a orillas del río Huatatas, distrito de Mariscal Cáceres, provincia de Huamanga, en las siguientes coordenadas:

Este : 587708,00 m
Norte : 8546576,71 m
Altitud : 2595 m.s.n.m.

b) *Lemna minor*

La procedencia de esta especie fue en la planta de tratamiento de Socos, distrito Socos; provincia Huamanga, departamento Ayacucho, en las coordenadas:

Este : 587765,69 m
Norte : 8540676,64 m
Altitud : 3183 m.s.n.m.

3.4.2. Colecta de los especímenes vegetales para el bioensayo

a) La *Eichornia crassipes* y *Lemna minor* fueron colectados en su ambiente natural en horas de la mañana aprovechando las bajas temperaturas. Para la colecta de las especies se tomaron en cuenta las siguientes características morfológicas:

- Pigmentación adecuada de la especie.
- Descartar especímenes con alguna anomalía en sus partes.
- Presenten buen sistema radicular.

b) Las muestras colectadas se colocaron en recipientes con agua del río, luego fueron transportados hasta el laboratorio donde se retiraron las plantas afectadas y restos de sustancias extrañas que se encontraron en las raíces, luego fueron lavadas con abundante agua declorada y se colocaron en recipientes de 3 L para su aclimatación.

3.4.3. Aclimatación de las especies

La aclimatación se realizó durante 14 días bajo condiciones ambientales de laboratorio con 11 h 40 min de luz indirecta, a una temperatura ambiente promedio de 18,9°C a 20°C, con 22,5% de humedad relativa.

Las plantas colectadas fueron transferidas a recipientes con contenido de agua potable declorada permanente, se agregaron solución hidropónica A y B, la solución A, está compuesto por nitrato de potasio, nitrato de amonio y superfosfato triple y la solución B está compuesto por sulfato de magnesio, quelato de hierro 6% Fe y soluciones de micronutrientes (Del Cisne & Flores 2012).

3.4.4. Identificación taxonómica de las especies vegetales

La identificación taxonómica se efectuó en el Laboratorio de Ecología y Control Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, de acuerdo a las claves pictográficas para identificación de Aláez et al., (2012) y la identificación de un especialista taxonómico.

3.4.5. Preparación de los bioensayos

Para la preparación del bioensayo se seleccionó a las plantas jóvenes y con adecuadas raíces, luego se procedió en preparar 54 L de agua con dicromato de potasio con una concentración de 20 ppm de cromo para todas las unidades experimentales, para el primer tratamiento se situó 2 especímenes de *Eichornia crassipes* + 20 ppm de cromo + 6 L de agua declorada, para el segundo tratamiento se situó 30 g de *Lemna minor* (equivalente a 12500 especímenes) + 20 ppm de cromo + 6 L de agua declorada, y al tercer tratamiento se situó 15 g de *Lemna minor* + 1 espécimen de *Eichornia crassipes* + 20 ppm de cromo + 6 L de agua declorada.

El tiempo de exposición de las plantas al metal pesado fue de 96 h.

La recolección de muestras de agua en el bioensayo fue antes de colocar las plantas, a las 24, 48, 72 y 96 h.

Tabla 2. Diseño del bioensayo.

Tratamiento	Concentración de $K_2Cr_2O_7$ (ppm)	N° de repeticiones
<i>Eichornia crassipes</i>	20	3
<i>Lemna minor</i>	20	3
<i>Eichornia crassipes</i> + <i>Lemna minor</i>	20	3

3.4.6. Toma de muestra de agua

La toma muestra de agua se realizó basándose en el protocolo del Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes (LASPAF).

- Muestra de 400 mL de agua con $K_2Cr_2O_7$.
- Envase de polietileno de alta densidad de 500 mL de capacidad de cierre hermético.
- Preservante HNO_3 (1:1)
- Rotulado de la muestra de agua: Código, fecha y hora
- Parámetro a medir: cromo (ppm)

3.4.7. Transporte y recepción de las muestras de agua

Las muestras de agua se enviaron al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes – LASPAF de la Universidad Agraria La Molina, en un cooler, las cuales fueron recepcionadas previo pago y solicitud de datos.

3.4.8. Método de análisis de cromo en la muestra de agua

El método utilizado para el análisis del cromo fue por espectrofotometría de absorción atómica de acuerdo al protocolo del anexo 40 ubicado en la página 63.

3.4.9. Metodología para la identificación de los cambios morfológicos

La metodología para la identificación de los cambios morfológicos fue la observación en las siguientes características:

- Pigmentación de las hojas.
- Aspecto del borde de las hojas.
- Necrosis de los peciolo en caso de *Eichornia crassipes*.
- Coloración de las raíces.

La evaluación de los daños morfológicos se realizó mediante el método visual con escala de daño (James, 1971).

3.5. Análisis estadístico

El trabajo investigativo optó por un Diseño Completamente Randomizado (DCR). Para dar confiabilidad a los resultados se procedió a un Análisis de Varianza al 95%.

3.6. Porcentaje de remoción

El porcentaje de remoción del metal se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{Ci - Cf}{Ci} * 100$$

Donde:

Ci = Concentración inicial (mg/l)

Cf = Concentración final (mg/l)

IV. RESULTADOS

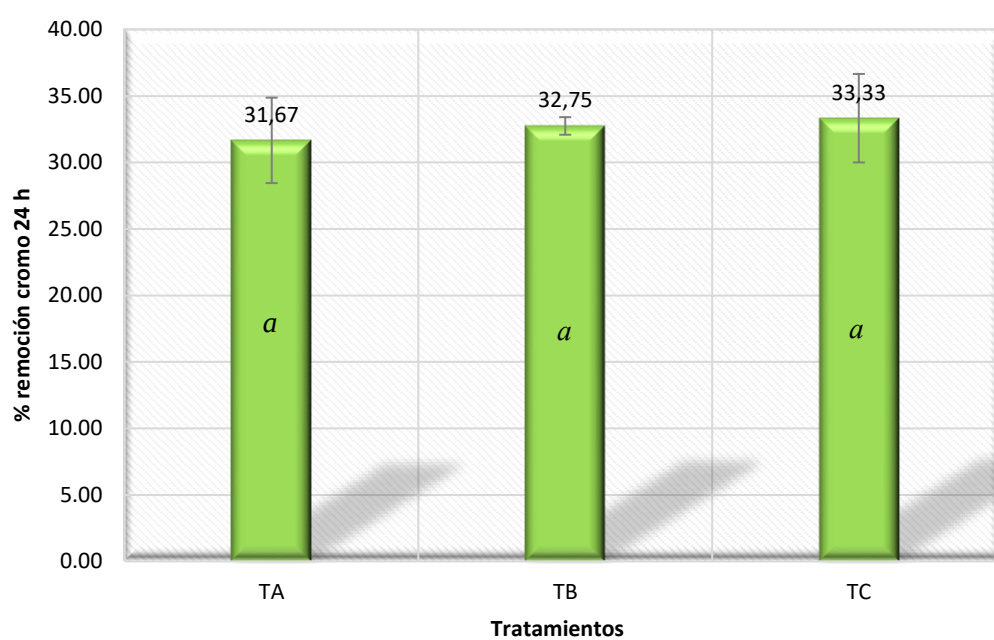


Figura 3. Promedios de los porcentajes de remoción de cromo a las 24 h empleando *Eichornia crassipes* = (TA), *Lemna minor* = (TB) y ambas especies = (TC), Ayacucho 2017.

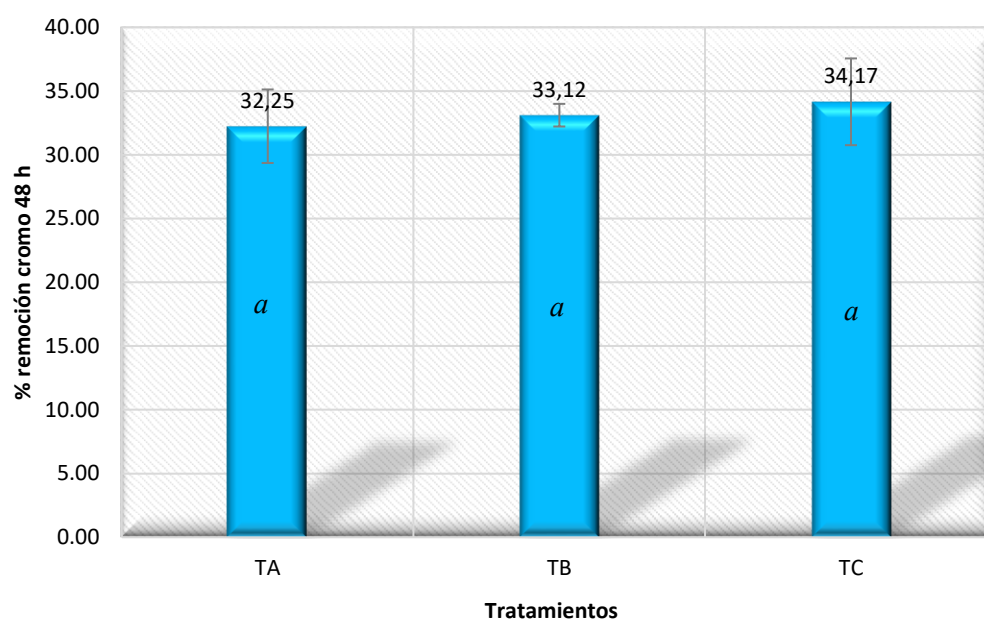


Figura 4. Promedios de los porcentajes de remoción de cromo a las 48 h empleando *Eichornia crassipes* = (TA), *Lemna minor* = (TB) y ambas especies = (TC), Ayacucho 2017.

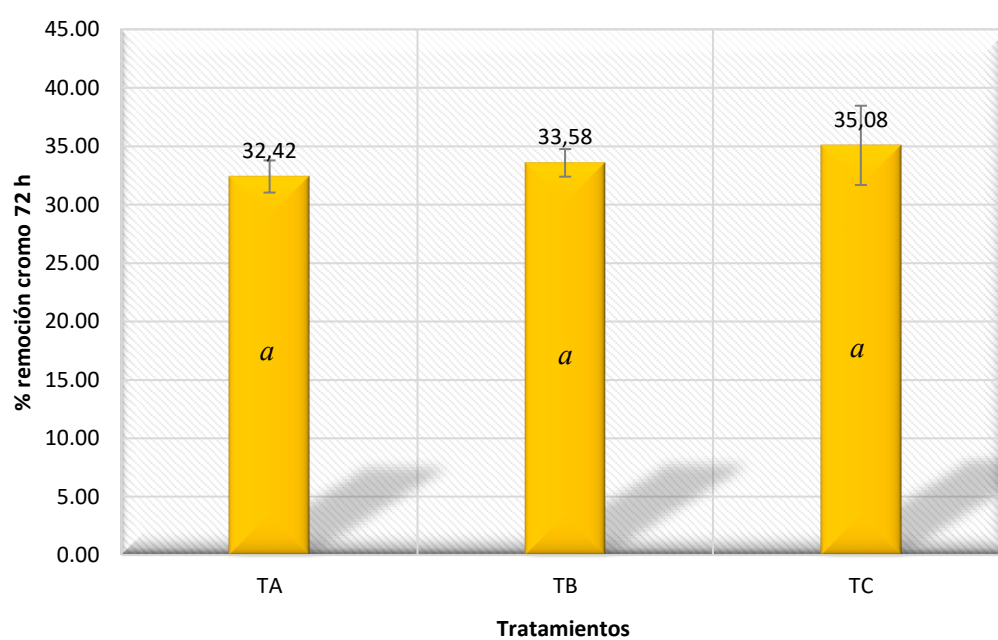


Figura 5. Promedio de los porcentajes de remoción de cromo a las 72 h empleando *Eichornia crassipes*= (TA), *Lemna minor* =(TB) y ambas especies= (TC), Ayacucho 2017.

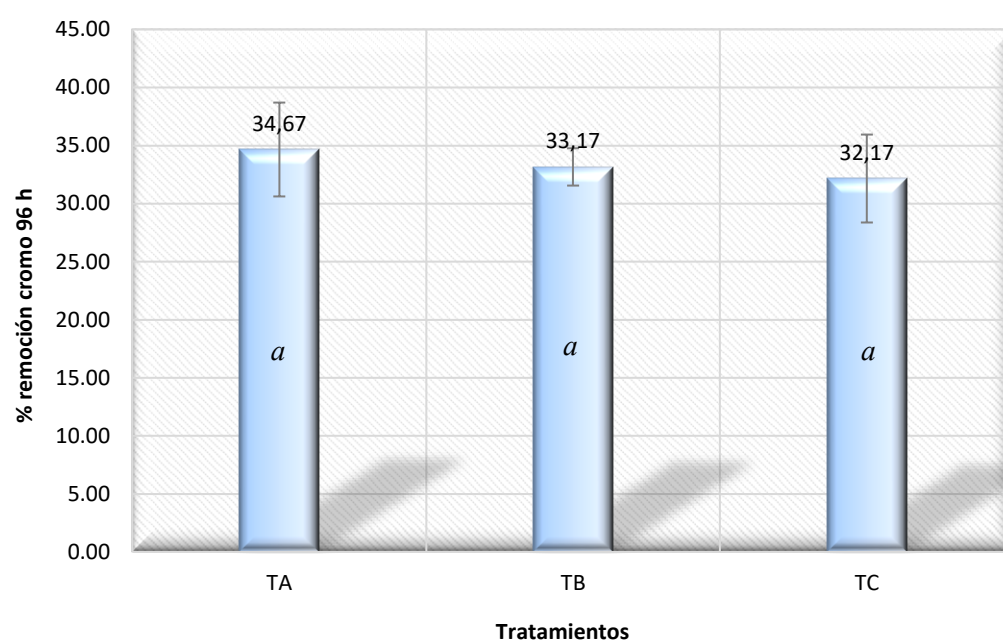


Figura 6. Promedios de los porcentajes de remoción de cromo a las 96 h empleando *Eichornia crassipes* = (TA), *Lemna minor* =(TB) y ambas especies = (TC), Ayacucho 2017.

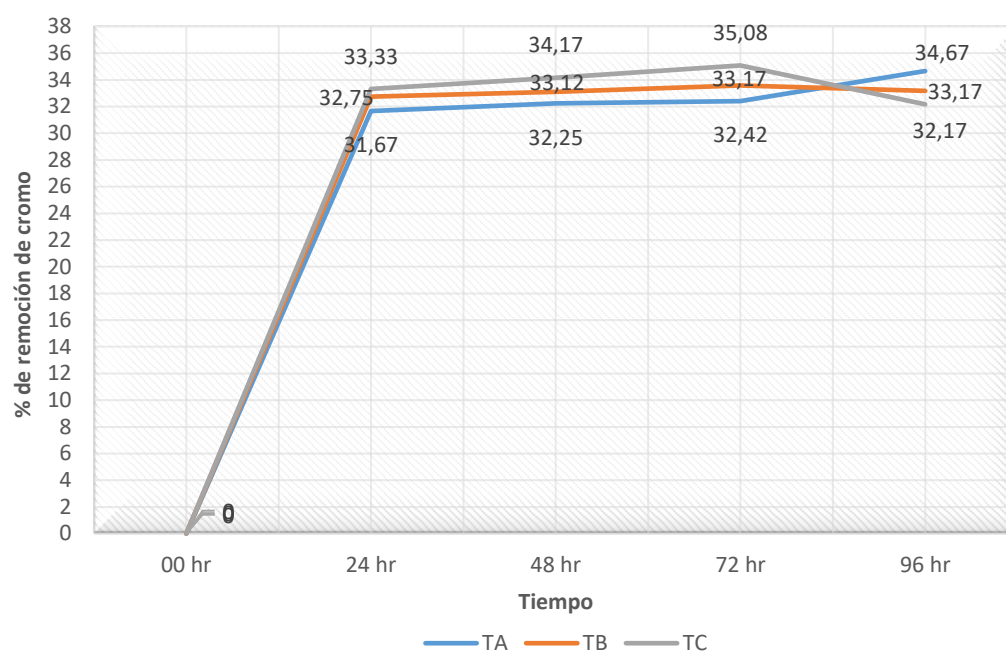


Figura 7. Porcentajes de remoción de cromo empleando *Eichornia crassipes*, *Lemna minor* y ambas plantas durante el tiempo de exposición, Ayacucho 2017.

Tabla 3. Evaluación morfológica de las especies después de la exposición al metal en la solución de dicromato de potasio a las 96 h, Ayacucho 2017.

Especies vegetales	Cambios morfológicos de las plantas expuestas al experimento	% daños morfológicos en las plantas del experimento	% daños morfológicos en las plantas del control
<i>Eichornia crassipes</i>	• Inicio de necrosamiento en la hoja.	44 %	0 %
	• Aparición de manchas blancas en las hojas.	22 %	0 %
	• Cambio de color en las raíces azulado a marrón.	100 %	100 %
<i>Lemna minor</i>	• Desprendimiento de raíces.	40%	5%
	• Frondas con manchas negras.	60%	0%

V. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación (figura 3), muestran los valores del porcentaje de remoción de cromo del bioensayo registrado a las 24 h empleando como tratamiento a la *Eichornia crassipes* (TA), *Lemna minor* (TB) y ambas especies (TC) expuestas a una concentración de 20 ppm de cromo, observándose que la *Eichornia crassipes* presenta una remoción de 31,67%, la *Lemna minor* con 32,75% y con ambas especies 33,33%. Estos resultados son relativamente similares a lo obtenido por Benítez et al., (2011) quien busco evaluar el proceso de absorción del metal cromo con *Eichornia crassipes* en soluciones de cromo a 60 ppm de concentración, obteniendo como resultado una remoción del 47,33% a las 24 h. Estas diferencias de remoción se dan por las concentraciones del metal en el medio acuoso, indicando que a mayor concentración mayor absorción del metal y viceversa (Reed & Gadd 1989). La máxima capacidad de remoción de cromo se da a las 24 h, los tratamientos TA = *Eichornia crassipes*, TB = *Lemna minor* y TC = ambas especies, mostraron una capacidad de remoción al 30%.

Benítez et al., (2011) indica que la *Eichornia crassipes* alcanzó una remoción máxima de almacenamiento de cromo durante las primeras 24 h, en tanto que Mohanty, (2005) reportó un porcentaje de remoción de cromo a las primeras 4 h, posteriormente del máximo de acumulación del cromo tiende a ser continuo la remoción de este metal. Asimismo los parámetros operativos, el pH de la solución, la dosis de biomasa, el tiempo de contacto y la temperatura, tienen un efecto enorme en la eficiencia de remoción del cromo (Kumar et al., 2012).

En la figura 4 la remoción de cromo a las 48 h para *Eichornia Crassipes* fue de 32,25%, *Lemna minor* 33,12% y con ambas especies 34,17%, en este punto se observa que la remoción de cromo por las plantas disminuye drásticamente, siendo mínima de las 24 a las 48 h, dado que este resultado es similar al que

obtuvo Carreño & Granado, (2016) en su desarrollo de su investigación para la remoción y retención de cromo de aguas contaminadas por curtiembre utilizando a la *Eichhornia crassipes* obteniéndose como resultado una remoción del 33% a las 48 h. Medina et al, (2019) en sus investigaciones sometieron a una contaminación controlada con cromo (III) durante 20 días, consideró la máxima concentración tolerada durante todo el periodo del experimento para estudiar la tasa y la capacidad de absorción del cromo (III), siendo las 48 h el punto máximo de absorción y después estabilizándose del punto máximo.

Resultados observados en la figura 5 muestran la remoción de cromo a las 72 h en *Eichhornia crassipes* con 33,42%, *Lemna minor* 33,58% y con ambas plantas 35,08%, mostrando que la remoción a partir de las 48 a 72 h es mínima, los tratamientos utilizados muestran que no hay diferencia significativa entre los tres tratamientos de acuerdo al análisis de varianza al 95%. Andrade et al., (2020) evaluaron la capacidad de fitosorción de *Eichhornia crassipes*, exponiéndolas a un efluente sintético de cromo (VI) determinándose cada 24 h, durante 10 días. El cromo total de absorción en *Eichhornia crassipes* fue de 98 % en los tratamientos, respectivamente donde las máximas remociones se obtuvieron durante las primeras 72 h para *Eichhornia crassipes* y para *Lemna minor* 33,58% a las 72 h, los valores de porcentaje de este estudio difieren de los hallazgos de Gómez et., al (2014), en sus investigaciones sobre la tolerancia al cromo en tres tipos de especies de macrófitas flotantes libres, reportaron que la especie *Lemna sp.*, eliminó el 65,55% de cromo total.

Los datos de remoción de cromo obtenidos a las 96 h (figura 6) con *Eichhornia crassipes* 34,67%, *Lemna minor* 33,17% y con ambas especies 32,17%, muestran que la remoción de cromo sigue siendo mínima y se estableció al 30% para ambas especies desde las 24 h, así mismo los tratamientos con *Lemna minor* y con ambas plantas el porcentaje de remoción disminuye, como lo manifiesta Benítez et al., (2011) el incremento del nivel de concentración del metal al interior del tejido de la planta presentan una relación directa al disminuir el metal en el medio, lo que genera variaciones en el gradiente osmótico, una exposición prolongada provoca un mayor estrés en la planta, lo que podría conllevar a la liberación parcial de la carga del metal al medio, con el fin de regular el medio homeostático.

Mientras que en la figura 7, se observa el porcentaje de remoción de los tres tratamientos expuestos en el tiempo a una concentración de 20 ppm de dicromato de potasio, se muestra que a las 24 h se da la mayor capacidad de remoción, que

a las 48 h, 72 h y 96 h, la remoción es mínima y contante después del punto máximo, en el tratamiento TB y TC la remoción del metal pesado, disminuye siendo 96 h el máximo tiempo de exposición de cromo en esta experimentación, el *Eichornia crasipes* presenta una mayor remoción ascendente en el tiempo con 34,67%, considerándose a esta planta como una especie hiperacumuladora de metales pesados y teniendo mecanismos de tolerancia para la absorción del metal (Beltran & Gómez, 2016), las especies *Lemna minor* y el tratamiento con ambas plantas presentan un mínimo descenso en la remoción; al cual manifestaron Benítez et al, (2011) que hay dos fases, una primera fase de mayor acumulación o remoción del cromo durante las primeras 24 horas y la otra fase posterior de disminución gradual de la tasa de acumulación del metal a medida que transcurre el tiempo.

Los cambios morfológicos que sufrió la planta durante el tiempo de exposición al metal pesado de acuerdo a la (tabla 2) muestran para la *Lemna minor* presenta necrosamiento de las frondas y desprendimiento de sus raíces desde las 96 h, podría decirse que a mayor tiempo de exposición mayor necrosamiento y pérdida de raíces, así mismo para la *Eichornia crassipes* ya a las 96 h iniciaron con indicios de necrosis en las hojas, perdiéndose el color azulado de sus raíces y la aparición de manchas blancas en sus hojas, lo observado se comparte con Medina et al., (2019) en el que mencionan en su trabajo de investigación de fitorremediación de cromo en efluente de curtiembre empleando *Eichornia crassipes*, la evaluación de los cambios morfológicos de las plantas expuestas a la solución de cromo, donde no presentaron signos de marchitamiento en los primeros días de exposición, luego comenzaron a marchitarse después de los cuatro días, llegando a casi 70% de marchitamiento. Los daños morfológicos en las macrófitas expuestos con dicromato de potasio liberan el cromo (III) durante el tiempo de exposición de 96 h, las plantas tienen la capacidad de reducir y esto lo indica Álvarez (2009). Así mismo las plantas utilizan otros tipos de mecanismos de tolerancia a los metales pesados donde, implican estrategias de exclusión, mineralización, reducción, solubilización, quelación, redistribución y acumulación, en este caso las plantas expuestas al metal también realizan un mecanismo de quelación mediante ligandos de alta afinidad, como las fitoquelatinas (FQS) y las metalotioneínas (MTs), que se caracterizan mejor en las células vegetales (Zenk, 1996). Se ha demostrado que las especies vivas de macrófitas tienen la capacidad de acumular y almacenar metales de 50 a 1000 veces los niveles de concentración del metal

en el medio acuático de la que los absorben (Wang & Wood, 1984). Estos estudios muestran que la sorción de metales pesados por parte de una biomasa viva puede funcionar rápidamente y proporcionar un alto grado de separación de metales pesados.

La *Lemna minor*, se utiliza con frecuencia en ensayos toxicológicos de diversas sustancias, debido a su tamaño reducido, rápido crecimiento y su alta sensibilidad a los plaguicidas como la rotenona, manejado como una especie bioindicadora, mediante la presencia de signos de toxicidad como la necrosis y clorosis, los cuales son visibles y fácilmente registrables tras una exposición de 96 h (Swanson et al., 1991).

VI. CONCLUSIONES

1. *Lemna minor* demostró una capacidad de remoción de cromo en el agua de 33,17%.
2. *Eichornia crassipes* mostró una mayor capacidad de remoción de cromo en el agua de 34,17%.
3. Al comparar los tratamientos entre *Eichornia crassipes* y *Lemna minor* para la remoción de cromo, utilizando el análisis de varianza al 95% de confiabilidad demostró que no hay diferencia significativa.
4. A las 96 h la *Eichornia crassipes* mostró cambios morfológicos con el inicio de necrosamiento y aparición de manchas blancas en algunos puntos de la hoja y el cambio de color en las raíces, perdiéndose el color azulado; asimismo la *Lemna minor*, manifestó el desprendimiento de raíces y necrosamiento de las frondas.

VII. RECOMENDACIONES

1. Promover investigaciones con bioensayos de extracción y/o absorción de metales pesados como el cromo y otros metales sumamente tóxicos para cualquier tipo de vida que consuman agua contaminada y sobre estos desarrollar planes de mejora o recuperación, lo que conllevaría al desarrollo sostenible.
2. Se recomienda contar con equipos que midan metales pesados en los laboratorios de la escuela de biología, para realizar investigaciones de esta índole.
3. Extender el período de evaluación más allá de 96 h para analizar la extracción y el crecimiento de las especies *Eichornia crassipes* y *Lemna minor*.
4. Utilizar las especies *Eichornia crassipes* y *Lemna minor* en el tratamiento para aguas contaminadas con otro tipo de metales como plomo, arsénico, mercurio o agroquímicos y comprobar su eficacia en la remoción de estos.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril V. L. E., (2016) Tesis. Análisis comparativo de la velocidad de degradación de cromo VI aplicando fitorremediación en medio físicos distintos: suelo y agua. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4892>
- Agudelo B., Lina M., Mazo M. K, Suárez M. A, (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Lasallista de Investigación*, 2(1).
- Aláez F. F. , Fernández A. M. , Santiago I. N., Núñez L. G. y Aboal S. M., (2012). ID-TAX. Catálogo y claves de identificación de organismos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico. *Dirección General del Agua de la*. https://www.researchgate.net/profile/Romina-Alvarez-Troncoso/publication/273957732_ID-TAX_Catalogo_y_claves_de_identificacion_de_organismos_del_grupo_macrofitos_utilizados_como_elementos_de_calidad_en_las_redes_de_control_del_estado_ecologico/links/551168
- Allaway, E., W., (1973). Cromo en plantas: distribución en tejidos, orgánulos y extractos y disponibilidad de Cr de hoja de frijol para los animales. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 21(982-986).
- Alvarado C. C. y Martínez C. A., (2013). *Validación de métodos analíticos por espectrofotometría para determinar sulfato, cianuros y cromo hexavalente en aguas, suelos y lixiviados*. Tesis, Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Álvarez, E., G., (2007). Adsorption of Cr(VI) from synthetic solutions and electroplating wastewaters on amorphous aluminum oxide. *J. Hazard. Mater*, 142, 191-198.
- Andrade R.C., Cáceres B., Vera B. A., Araujo G. y Morales A. D., (2020). Phytoaccumulation and translocation of chromium in *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* during the treatment of contaminated effluents. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, 43(1), 26-32.
- Anderson, R.A., (1989). Essentiality of chromium in humans. *Sci. Tot. Environ*. 86, 75±81.
- Arenas, A. D., Lué. M; Torres, G. (2011). Evaluación de la planta *Lemna minor* como biorremediadora de aguas. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2(3). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323627683001>
- Aronés M. E., (2011). *Evaluación de la contaminación por cromo en el río Alameda de la Provincia de Huamanga*. Tesis, Universidad San Cristóbal de Huamanga. Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil, Ayacucho.
- Arroyave, M. D., (2004). La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): Una Planta acuática promisorio. *EIA*, 1.
- Atehortua E. & Gartner C. (2013). Estudios preliminares de la biomasa seca de *Eichhornia crassipes* como adsorbente de plomo y cromo en aguas. *Revista Colombiana de materiales*.(4). <https://revistas.udea.edu.co/index.php/materiales/article/view/15084>.
- Baldeón, Q., Franco, M. & Cruz, M., (2017). Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros físicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental. 3(1), 1-15.
- Bárbara G., Rodríguez S. V., Carlos G. Y., (2014). Tolerancia al cromo en tres especies de macrófitas flotantes libres (*Lemna sp.*, *Salvinia sp.* y *Azolla*

- sp.). Tesis. Instituto Nacional del Agua - Centro de Tecnología del uso del agua. Argentina.
- Beltran, P., M., (2016). Biorremediación de metales pesados Cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: Una revisión. Universidad Militar Nueva Granada, 12(2), 172-197.
- Benítez R., Calero V., Peña E. M., (2011). Evaluación de la cinética de la acumulación de cromo en el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*). Rev.Bio.Agro, 9(2).
- Bolan N, K. A. (2014). Remediation of heavy metal (loid)s contaminated soil to mobilize or to immobilize. *Hazardous Material*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.12.018>
- Bolan N, Kunhikrishnan A, Thangarajan R, Kumpiene J, Park J, Makino T, Kirkham M and Scheckel K. (2014). Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils--to mobilize or to immobilize. *Hazardous Material*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.12.018>
- Carreño, U., F., (2016). Diseño, desarrollo y evaluación de un sistema de fitorremediación a escala de laboratorio utilizando *eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas contaminadas con cromo. <http://hdl.handle.net/11371/3977>.
- Castillo, V. H (1979). Determinación de los factores más importantes en el crecimiento del lirio acuático en la presa Endho, Hgo. Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sec. de Ingeniería Ambiental.
- Cervantes C, Campos J, Devars S, Gutiérrez C. F., Loza T., Torres G., Moreno S. (2001). Interacciones del cromo con microorganismos y plantas, *FEMS Microbiology Reviews*, Volumen 25, Número 3, páginas 335–347, <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2001.tb00581.x>
- Charity E. Andrade R., Cáceres B., Vera B. A, Araujo, G. y Morales A. E., (2020). Fitoacumulación y translocación de cromo en *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* durante el tratamiento de efluentes contaminados. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia., 3-56. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/30784>.
- Consejo de Europa de 6 de mayo de 1968, disponible en <https://www.coe.int/es/web/portal/home>
- Clemens, S., (2001). Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. *Planta*, 212:475-486.
- Cordova, M. A., (2019). Efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales Totorá y la contaminación de las hortalizas por metales pesados en la comunidad de Totorá-Ayacucho 2017-2018. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio institucional UNFV http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/3618/CORDOVA_MIRANDA_ALCIRA_IRENE_-_DOCTORADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Delgadillo L. A., González Ramírez César A., Prieto García Francisco, Villagómez Ibarra José R., Acevedo Sandoval Otilio (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2).
- Elorza M., Sánchez E. y Sobrino E. (2004). Atlas de las plantas alóctonas invasoras en España. Dirección General para la Biodiversidad.
- Gadapati, W.R. & Macfi S.M. (2006). Phytochelatins are only partially correlated with Cd-stress in two species of Brassica. *Plant Science*, 170:471- 480.

- Gaibor N. & Jolley A. (2022). Fitorremediación como alternativa de tratamiento para el agua del estero salado y aplicación de un postratamiento de desinfección. Universidad de Guayaquil.
- Garbisu, C., A., (2003). Basic concept son heavy metal soil bioremediation. European Journal of mineral processing and environ mental protection, 3, 58-66.
- García T., Z., (2012). Comparación y evaluación de tres plantas acuaticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis. Universidad Nacional de Ingeniería., Lima..
- Gómez, B., M., (2017). Fitorremediación de cromo con plantas acuáticas flotantes: lineamientos para su implementación en rehabilitación de cuerpos de agua. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Guertin, J. (2005). Toxicity and health effects of chromium (all oxidation states) Chromium(VI) Handbook. CRC Press. Boca Raton. FL, 1, 215-234.
- Hazrat A., Ezzat K., Muhammad A. S., (2013). Phytoremediation of heavy metals. Concepts and applications. Chemosphere, 91(7), 869-881. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653513001914>.
- Hirata K., Tsuji N. y Miyamoto K. (2005). Biosynthetic regulation of phytochelatin, heavy metal-binding peptides. Bioscience and Bioengineering. 100:593-599.
- Huffman E.W.D. & Allaway W.H. (1973). Growth of Plants in Solution Culture Containing. Plant Physiol., 52(72-75).
- INRENA, (1995). Mapa Ecológico del Perú. Lima, Perú
- Jaramillo J. M., (2012). Tesis. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- James, W.C. (1971). An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage, Canadian Plant Disease Survey.
- Jiménez C. B., (2001). La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. México: Limusa.
- Kaustubha M., Mousam J., Meikap B.C. y Biswas M.N. (2006). Biosorption of Cr(VI) from aqueous solutions by *Eichhornia crassipes*. *Chemical Engineering Journal*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2005.11.018>.
- Kumar G. A., Patel R., Mandal S., (2012). Eliminación de Cr (VI) de una solución acuosa mediante carbón activado derivado de biomasa de raíz de *Eichhornia crassipes*. *Revista de Ingeniería Química*, 185-186, 71-78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.025>
- Linneo Carlos., (1753). Species Plantarum Exhibentes Plantas Rite Cognitas Ad Genera Relatas cum differentiis specificis Nominibus Trivialibus, Sinonymis Selectis, Locis Natalibus. Cuarta edición. Imprenta Berolini.
- Lucho C., Alvarséz M., Beltrán R., Prieto F., Poggi, (2005). A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State. Of environmental science, risk and health, 31(3): 313-323.
- Lytle C. M., F. W. Lytle, N. Yang J. H. Qian, D., Hansen, A., Sayed, and N. Terry. . (1990). Reduction of Cr (VI) to Cr (III) by wetland plants; potential for In situ metal detoxification. *Environ Sci Technol*, 32.
- Marrero J., Díaz A., Coto O., (2010). Mecanismos moleculares de resistencia a metales pesados en las bacterias y sus aplicaciones en la biorremediación . *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 41 (1):67-68.

- Medina G. L., Francisco P. F., Kurita O. H, Rodríguez B. S., Galeano F. y Viera R. M., (2019). Fitorremediación de cromo en efluente de curtiembre empleando *Eichhornia crassipes*. *Scielo*, 12 <https://doi.org/10.18004/rcfacen.2019.10.1.25>.
- Mejía S. G., (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 1(1). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321428096010>
- Ministerio del Ambiente - MINAM : <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-MINAM/>
- Mohanty, K.J. et al. (2005). Biopsortion of Cr (VI) from aqueous solutions by *Eichhornia crassipes*. *Chemical engineering journal*, 177.
- Montauban G. R., (2013). Determinación de Cromo III y cromo VI, mediante técnicas electroquímicas de análisis. Tesina, Facultad de Ciencias. Universidad de la república .
- Montenegro, V. J., (2021) Determinación de efectividad de la absorción de cadmio y cobre por acción de *Lemna minor* en el Tragadero Yacuchingana. Universidad Cesar Vallejo.
- Moreno, S. R., D. S. (1999) Abundancia de los metales pesados en la biosfera. En: Contaminación ambiental por metales pesados. Impacto en los seres vivos. (S. A., Ed.)
- Nessner V. & Esposito E., (2010) Biotechnological strategies applied to the decontamination of soil polluted with heavy metals. *Biotechnology advances*, 28:61-89.
- Nieboer, E., Jusys, A.A., 1988. Biologic chemistry of chromium. In: Nriagu, J.O., Nieboer, E. (Eds.), *Chromium in Natural and Human Environments*. Wiley Interscience, New York, pp. 21±81.
- Novotny, V., (1995) Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters. In *Heavy Metals: Problems and Solutions*.
- Ortiz M. J., Valeriano Q.R. (2023). Aplicación del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para la remoción de cromohexavalente y zinc en aguas residuales galvánicas, Lima Este 2023. Universidad Nacional del Callao
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, I. C.-U. (2015). Iniciativa Internacional sobre la calidad del agua. UNESCO, París, Francia. UNESDOC. Biblioteca Digital: <http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en>
- Pérez P. J & Merino M. (2012). Recuperado el 10 de Junio de 2017, de Definición de: <https://definicion.de/remocion/>
- Poma, R. & Valderrama, N. (2014). Estudios de parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio(II) y mercurio(II) con las especies *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua). *Rev. Soc. Química del Perú*, 80((3)), 1-9.
- SENAMHI- Perú. (n.d.). Mapa climatico del Perú. Retrieved march 13, 2024, from <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>.
- Skeffington, RA., Shewry PR. y PJ Peterson. (1976). Absorción y transporte de cromo en plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* L.). *Planta*, 132, 209 - 214. <https://doi.org/10.1007/BF00399719>
- Supo, J., (2014) Cómo elegir una muestra – Técnicas para seleccionar una muestra representativa.
- Rajendran P, Muthukrishnan J, Gunasekaran. P., (2003). Microbes in heavy metal remediation. *Indian Journal of Experimental Biology*, 41: 935-944.
- Ramos M. J., (2009). Estudio de la contaminación por metales pesados y otros procesos de degradación química en los suelos en los invernaderos del poniente Almerense. Almería: Universidad de Almería.

- Raskin, I., (2000). Phytoremediation of toxic metals using Plants to Clean up the Environment. 1, 53-70.
- Rayner, G., (2000). Química Inorgánica Descriptiva. *Prentice Hall*, 1(2), 25-60.
- Reed R.H & Gadd G.M. (1990). Metal tolerance in eukaryotic and prokaryotic algae. In: Shaw AJ (ed) Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects. CRC Press pp 105-118. ISBN. *Boca Raton*.
- Ricardo B., Victor C. E. y Jaime M., (2011). Evaluación de la cinética de la acumulación de cromo en el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 66-73.
- Núñez L. A., Meas V. J, Ortega B. R. y Olguín. E., (2004). Retrieved 18 de junio de 2016, from Ciencia:https://www.ciaorganico.net/documypublic/390_Fitorremediacion.pdf
- Ortiz M. A & Valeriano Q. R., (2023). Aplicación del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) para la remoción de cromo hexavalente y zinc en aguas residuales galvanicas. *Universidad Nacional del Callao*, 135.
- Salt D. E., M. B., (1995). Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology*, 13.
- Sandoval, V. J., (2019). Eficiencia del Jacinto de Agua *Eichhornia crassipes* y Lenteja de agua *Lemna minor* L. en la remoción de cadmio en aguas residuales.
- Skeffington., (1976) Captación y transporte de cromo en plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* L.). *Planta* 132, 209–214.
- Suresh B. R., (2004). Phytoremediation A Novel and Promising Approach for Environmental Clean-up. *Critical Reviews in Biotechnology* 24.
- Swanson, S.; Collen, R.; Freemark, K. & Mac Quarrie, P., (1991). Testing for pesticide toxicity to aquatic plants: Recommendations for test species. In: American Society for Testing and Materials (Ed.), *Plants for Toxicity Assessment*. 2nd Volumen. pp. 77–97. Philadelphia: Ann Arbor, MI.
- Téllez M. J., Carvajal R.M., y Gaitán A.M., (2004). Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtiembres. *Rev. Fac. Med. Univ. Nac. Colomb.*, 52(1). <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/view/43297/44595>
- Torres, U. F., (2017). Diseño, Desarrollo y Evaluación de una tecnología de fitorremediación a escala de laboratorio utilizando la *Eichhornia Crassipes* para el tratamiento de aguas contaminadas con cromo. *Tecciencia*, 12(22).
- Vanegas, M. et al., (2021). Remoción de cinco productos farmacéuticos catalogados como contaminantes emergentes en medio acuoso utilizando la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*).
- Velarde H. K., Zavaleta A. M., y Aguilar Q. C., (2013). Estudio de la absorción del ion cromo VI con jacinto de agua. Segundo encuentro de investigadores., (págs. 1-15). Trujillo.
- Vicente, C. O., (2023). Potencial fitorremediador de las especies *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de cromo. *Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina*, 112.
- Vidal A. M., (2009). *Evaluación de los mecanismos de adsorción y acumulación intracelular de plomo (Pb+2), en sistemas continuos de fitorremediación con Salvinia minima*. Tesis, Veracruz, Xalapa.
- Xiaoqing Z., Takashi K., Teruo T., Tosio M., Sumio S., (1993). A process monitoring/controlling system for the treatment of wastewater containing chromium(VI), *Water Research*, Volume 27, Issue 6. Pages 1049-1054, ISSN 0043-1354. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(93\)90069-T](https://doi.org/10.1016/0043-1354(93)90069-T).
- Wang, HK y Wood, JM., (1984). Bioacumulación de níquel por algas. *Ciencia y tecnología ambientales*, 18 (2), 106-109.

- Wong, P.,T., Trevors JT. (1988). *Chromium toxicity to algae and bacteria*. In: Nriagu JO, Nieboer E. (eds), *Chromium in the natural and human environments*. Wiley. New York.
- Wu, G., K., H., (2010). A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metal from contaminated soil. Issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities.
- Zayed, A., Gowthaman, S., & Terry, N. . (1998). Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed. *Journal of Environment Quality*(27(3), 715.). <https://doi.org/doi:10.2134/jeq1998.00472425002700030032x>
- Zayed A.,C., (1998). Acumulación, translocación y especiación química de cromo en cultivos de hortalizas. *Scientific Reports*, 206(293-299). <https://doi.org/10.1007/s00425005040>
- Zayed A., (1998). Fitoacumulación de oligoelementos por plantas de humedales: I. Lenteja de agua. *Journal of environmental quality*, 27(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700030032x>
- Zenk, M. (1996). Heavy metal detoxification in higher plants: a review. *Gene*, 179:21-30.

ANEXOS

Anexo 1. Cálculo para la obtención de 20 ppm de cromo.

Cálculo:

Fórmula: $K_2Cr_2O_7$

Tabla 4: Peso atómico del dicromato de potasio

Elemento	Peso atómico	Total
K	39,0983	78,1966
Cr	51,9961	103,9922
O	15,9994	111,9958

$$ppm Cr = \frac{gr\ soluto \times 1000000}{gr\ solución}$$

$$gr\ soluto\ Cr = \frac{ppm\ Cr \times gr\ solución}{1000000}$$

$$gr\ soluto\ Cr = \frac{20\ ppm \times 54\ 000\ gr}{1000000}$$

$$gr\ Cr = 1.08\ gr\ Cr$$

$$Cr = 1080\ mg$$

$$294.185\ mg\ K_2Cr_2O_7 \quad \quad \quad 104\ mg\ Cr$$

$$x\ \quad \quad mg\ K_2Cr_2O_7 \quad \quad \quad 1080\ mg\ Cr$$

$$x = \frac{294.185\ mg\ K_2Cr_2O_7 \times 1080\ mg\ Cr}{104\ mg\ Cr}$$

$$x = 3,055\ gr\ K_2Cr_2O_7$$

Anexo 2. Evidencias fotográficas de la metodología.



Colecta de especímenes de *Eichornia crassipes* y *Lemna minor*.

A)



B)



Aclimatación de las plantas de *Eichornia crassipes* (A) y *Lemna minor* (B) en el laboratorio de Ecología y Control Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas.



Adición de solución hidropónica a las plantas de *Lemna minor* y *Eichornia crassipes*.



Preparación de la solución de dicromato de potasio.



Diseño de ubicación de las unidades experimentales del bioensayo.



Identificación taxonómica de las especies vegetales *Eichornia crassipes*.



Identificación taxonómica de las especies vegetales *Lemna minor*.



Selección y pesado de *Lemna minor* para colocar las plantas en los recipientes del experimento.



Selección y colocado de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en los recipientes de experimentación.



Unidades experimentales del bioensayo.



Toma de muestra de agua para el análisis del cromo.



Rotulado de las muestras de agua a analizarse.

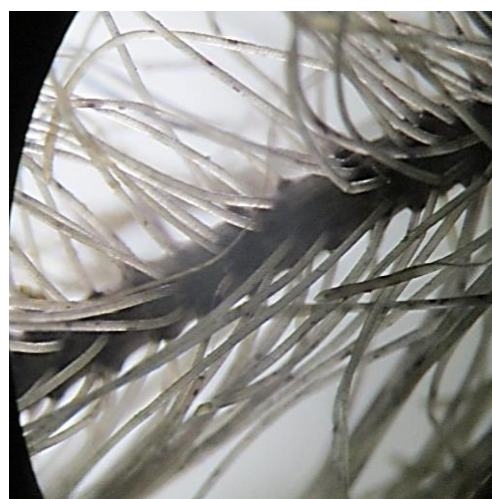
Anexo 3. Fotografías de los cambios morfológicos de las plantas después de la exposición al bioensayo.



Necrosis de las frondas de la *Lemna minor* después del bioensayo a 96 h.



Inicio de necrosamiento de las hojas de *Eichornia crassipes* después del bioensayo a 96 h.



Pérdida del color azulado de las raíces de la *Eichornia crassipes* después del bioensayo a 96 h.

Anexo 4. Análisis de varianza para 24 h de porcentaje de remoción de cromo.

Variable	N	R°	Aj	CV
% 48 h	9	0,09	0,00	8,28

FV	SC	GL	CM	F	p - valor
Modelo	4,29	2	2,15	0,29	0,7550
Tratamiento	4,29	2	2,15	0,29	0,7550
Error	43,71	6	7,28		
Total	48	8			

Anexo 5. Análisis de varianza para 48 h de porcentaje de remoción de cromo.

Variable	N	R°	Aj	CV
% 48 h	9	0,12	0,00	7,91

FV	SC	GL	CM	F	p - valor
Modelo	5,53	2	2,76	0,40	0,6865
Tratamiento	5,53	2	2,76	0,40	0,6865
Error	41,37	6	6,90		
Total	46,90	8			

Anexo 6. Análisis de varianza para 72 h de porcentaje de remoción de cromo.

Variable	N	R°	Aj	CV
% 72 h	9	0,27	0,02	6,59

FV	SC	GL	CM	F	p - valor
Modelo	10,72	2	5,36	1,09	0,3959
Tratamiento	10,72	2	5,36	1,09	0,6865
Error	29,63	6	4,94		
Total	40,35	8			

Anexo 7. Análisis de varianza para 96 h de porcentaje de remoción de cromo.

Variable	N	R°	Aj	CV
% 96 h	9	0,13	0,00	9,99

FV	SC	GL	CM	F	p - valor
Modelo	9,50	2	4,75	0,43	0,6699
Tratamiento	9,50	2	4,75	0,43	0,6699
Error	66,50	6	11,08		
Total	76,00	8			

Anexo 8. Prueba Shapiro - Wilks para 24 h.

Tratamientos	Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
TA	% 24 h	3	31,67	3,21	0,87	0,2962
TB	% 24 h	3	32,75	0,66	0,89	0,3614
TC	% 24 h	3	33,33	3,33	0,95	0,5813

Anexo 9. Prueba Shapiro - Wilks para 48 h.

Tratamientos	Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
TA	% 48 h	3	32,25	2,88	0,91	0,4162
TB	% 48 h	3	33,12	0,89	0,86	0,2684
TC	% 48 h	3	34,17	3,40	0,91	0,4213

Anexo 10. Prueba Shapiro - Wilks para 72 h.

Tratamientos	Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
TA	% 72 h	3	32,42	1,38	1,00	0,9018
TB	% 72 h	3	33,58	1,18	0,91	0,4070
TC	% 72 h	3	35,08	3,39	0,78	0,0706

Anexo 11. Prueba Shapiro - Wilks para 96 h.

Tratamientos	Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
TA	% 96 h	3	34,67	4,04	0,98	0,7232
TB	% 96 h	3	33,17	1,61	0,87	0,2962
TC	% 96 h	3	32,17	3,79	0,85	0,2519

Anexo 12. Prueba F para igualdad de varianza para 24 h.

Variable	Grupo (1)	Grupo (2)	n (1)	n (2)	Var (1)	Var (2)	F	p	prueba
% 24 h	TA	TB	3	3	10,33	0,44	23,62	0,0812	Bilateral
% 24 h	TA	TC	3	3	10,33	11,08	0,93	0,9650	Bilateral
% 24 h	TB	TC	3	3	0,44	11,08	0,04	0,0759	Bilateral

Anexo 13. Prueba F para igualdad de varianza para 48 h.

Variable	Grupo (1)	Grupo (2)	n (1)	n (2)	Var (1)	Var (2)	F	p	prueba
% 48 h	TA	TB	3	3	8,31	0,79	10,51	0,1737	Bilateral
% 48 h	TA	TC	3	3	8,31	11,58	0,72	0,8356	Bilateral
% 48 h	TB	TC	3	3	0,79	11,58	0,07	0,1278	Bilateral

Anexo 14. Prueba F para igualdad de varianza para 72 h.

Variable	Grupo (1)	Grupo (2)	n (1)	n (2)	Var (1)	Var (2)	F	p	prueba
% 72 h	TA	TB	3	3	1,90	1,40	1,36	0,8481	Bilateral
% 72 h	TA	TC	3	3	1,90	11,52	0,16	0,2826	Bilateral
% 72 h	TB	TC	3	3	1,40	11,52	0,12	0,2161	Bilateral

Anexo 15. Prueba F para igualdad de varianza para 96 h.

Variable	Grupo (1)	Grupo (2)	n (1)	n (2)	Var (1)	Var (2)	F	p	prueba
% 96 h	TA	TB	3	3	16,33	2,58	6,32	0,2731	Bilateral
% 96 h	TA	TC	3	3	16,33	14,33	1,14	0,9348	Bilateral
% 96 h	TB	TC	3	3	2,58	14,33	0,18	0,3054	Bilateral

Anexo 16. Resultado de análisis de agua del laboratorio de análisis de suelos, plantas y fertilizantes.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN AGUA

SOLICITANTE : FLORINDA ATAUCUSI FLORES

PROCEDENCIA : AYACUCHO/ HUAMANGA

REFERENCIA : H.R. 57858

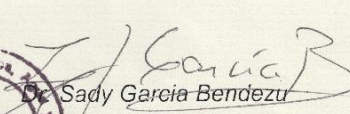
BOLETA : 139

FECHA : 14/03/17

N° LAB	CLAVES	Cr ppm
1909	T.A/24 Horas 1	14.40
1910	T.B/24 Horas 1	13.60
1911	T.C/24 Horas 1	12.60
1912	T.A/96 Horas 1	12.20
1913	T.B/96 Horas 1	13.00
1914	T.C/96 Horas 1	13.90
1915	T.A/24 Horas 2	13.40
1916	T.B/24 Horas 2	13.60
1917	T.C/24 Horas 2	13.50
1918	T.A/96 Horas 2	13.20
1919	T.B/96 Horas 2	13.50
1920	T.C/96 Horas 2	14.10
1921	T.A/24 Horas 3	13.20
1922	T.B/24 Horas 3	13.40
1923	T.C/24 Horas 3	13.90
1924	T.A/96 Horas 3	13.80
1925	T.B/96 Horas 3	13.60
1926	T.C/96 Horas 3	12.70

Metodología empleada:

* Cromo: Espectrofotometría de absorción atómica.


Sady García Bendezu
Jefe de Laboratorio



Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 17. Resultado de análisis de agua del laboratorio de análisis de suelos, plantas y fertilizantes.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN AGUA

SOLICITANTE : FLORINDA ATAUCUSI FLORES

PROCEDENCIA : AYACUCHO/ HUAMANGA

REFERENCIA : H.R. 57858

BOLETA : 138

FECHA : 14/03/17

Nº LAB	CLAVES	Cr ppm
1929	T.A/48 Horas 1	14.20
1930	T.B/48 Horas 1	13.25
1931	T.C/48 Horas 1	12.40
1932	T.A/72 Horas 1	13.80
1933	T.B/72 Horas 1	13.10
1934	T.C/72 Horas 1	12.20
1935	T.A/48 Horas 2	13.35
1936	T.B/48 Horas 2	13.58
1937	T.C/48 Horas 2	13.40
1938	T.A/72 Horas 2	13.25
1939	T.B/72 Horas 2	13.55
1940	T.C/72 Horas 2	13.35
1941	T.A/48 Horas 3	13.10
1942	T.B/48 Horas 3	13.30
1943	T.C/48 Horas 3	13.70
1944	T.A/72 Horas 3	13.50
1945	T.B/72 Horas 3	13.20
1946	T.C/72 Horas 3	13.40
1947	T.A/00 Horas 3	20.00
1948	T.B/00 Horas 3	20.00
1949	T.C/00 Horas 3	20.00

Metodología empleada:

* Cromo: Espectrofotometría de absorción atómica.



Sady García Bendezu
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 18. Protocolo del método por espectrofotometría por absorción atómica para cromo.

1. Homogenizar la muestra. Si se dispone de una estimación del contenido total de cromo en la muestra realizar una toma con pipeta aforada tal que la solución final esté en el rango de medida. La toma mínima a realizar será de 5,00 mL, en el caso de muestras muy concentradas diluirlas luego de la digestión. En el caso de estimar un contenido de cromo menor a 0,25 mg/L, y de ser necesario, concentrar la muestra durante la digestión. Transferir la toma a un Erlenmeyer de 100 - 125 mL. Paralelamente se realiza un blanco de digestión sustituyendo la muestra por agua destilada.
2. Agregar 5 mL de HNO₃. Calentar en una plancha calefactora tal que se obtenga una ebullición leve, concentrar al menor volumen tal que no ocurra precipitación. Si es necesario agregar más ácido y seguir calentando hasta obtener una solución clara.
3. No permitir que la solución se seque durante el calentamiento. Puede quedar un pequeño precipitado no soluble en agua que es luego filtrado. En caso de que la digestión con HNO₃ no sea suficiente, usar mezcla de ácidos (sulfúrico y/o clorhídrico). En este caso la medida se realizará por adiciones estándar.
4. Lavar el Erlenmeyer con agua, si es necesario filtrar con papel de filtro lavando abundantemente el precipitado, y recoger el filtrado en un matraz aforado.
5. Dejar enfriar a temperatura ambiente y llevar a volumen con agua destilada, homogeneizar.

b. Curva de calibración

Preparar soluciones estándar de 0,25 y 20,0 mg/L de cromo a partir de la solución 7,4, con el agregado de HNO₃ tal que su concentración final sea del 1%.

c. Determinación directa

a) Parámetros instrumentales:

Lámpara de cátodo hueco de cromo Longitud de onda: 357,9 nm

Combustible: acetileno, oxidante: aire, tipo de llama: reductora

b) Realizar la curva de calibración con los estándares de 0,25 a 20 mg/L.

c) Medir las muestras y blancos.

d. Determinación por adiciones estándar

a) Parámetros instrumentales:

Lámpara de cátodo hueco de cromo Longitud de onda: 357,9 nm

Combustible: acetileno

Oxidante: aire

Tipo de llama: reductora

b) Realizar una medida aproximada del contenido de cromo en la muestra (x).

c) Tomar cuatro alícuotas iguales de la muestra con pipeta aforada en matraces aforados: A, B, C y D.

En el matraz A aforar con agua destilada. Realizar en los tres matraces restantes adiciones de solución estándar de cromo tal que la concentración en el matraz B sea el doble que la concentración en A; en el matraz C el triple y en el D cuatro veces la concentración de A. Tener en cuenta que la suma del contenido de cromo de la muestra más la adición no supere los 20 mg/L.

e. Cálculos y expresión de los resultados

5.1. Se determina los límites de cuantificación (LC) y detección (LDM).

Ver Norma técnica BII01.

5.2. Se determina la concentración de cromo en la digestión de la muestra y blanco (C_M y C_B) o en una dilución de los mismos a partir de la curva de calibración obtenida en 5,1, o a partir de la curva de adición obtenida en 5,2.

5.3. Si C_M es menor a LD_M informar:

No detectable, Límite de detección = LD_M * FC, expresado en mg/L.

Donde FC es el factor de concentración de la muestra, obtenido según:

$$FC = V/T$$

Donde:

V = volumen del matraz aforado usado para recoger el filtrado de digestión en mL.

T = toma de la muestra en mL.

5.4. Si C_M es mayor a LD_M pero menor a LC informar:

$$\text{Se detecta, Cr total (mg/L)} < LC * FC.$$

Donde

FC es el factor de concentración de la muestra, obtenido como en 5,3.

5.5. Si C_M es mayor a LC informar el valor obtenido según:

$$\text{Cr total (mg/L)} = (C_M * FD_M - C_B * FD_B) * FC$$

Anexo 19. Constancia de identificación taxonómica de la especie *Lemna minor*.

CONSTANCIA

**LA BIOLOGA LAURA AUCASIME MEDINA ESPECIALISTA EN
TAXONOMÍA Y SISTEMÁTICA DE PLANTAS DEJA CONSTANCIA:**

Que, la Bachiller en Ciencias Biológicas, **Srta. Florinda, ATAUCUSI FLORES**,
ha solicitado la identificación de una muestra vegetal para trabajo de tesis.

Dicha muestra ha sido estudiada y determinada según el Sistema de
Clasificación de Cronquist. A. 1988. Siendo su taxonomía el siguiente:

DIVISIÓN	:	MAGNOLIOPHYTA
CLASE	:	LILIOPSIDA
SUB CLASE	:	ARECIDAE
ORDEN	:	ARALES
FAMILIA	:	LEMNACEAE
GENERO	:	Lemna
ESPECIE	:	<i>Lemna minor</i> L.
N.V.	:	"lenteja de agua"

Se expide la certificación correspondiente a solicitud de la interesada
para los fines que estime conveniente.

Ayacucho, 03 de febrero del 2017



LAURA AUCASIME MEDINA
BIÓLOGA
Reg. C.B.P. N° 583 C.R. - XIII

Anexo 20. Constancia de identificación taxonómica de la especie *Eichornia crassipes*.

CONSTANCIA

LA BIOLOGA LAURA AUCASIME MEDINA ESPECIALISTA EN TAXONOMÍA Y SISTEMÁTICA DE PLANTAS DEJA CONSTANCIA:

Que, la Bachiller en Ciencias Biológicas, **Srta. Florinda, ATAUCASI FLORES**, ha solicitado la identificación de una muestra vegetal para trabajo de tesis.

Dicha muestra ha sido estudiada y determinada según el Sistema de Clasificación de Cronquist. A. 1988. Siendo su taxonomía el siguiente:

DIVISIÓN	:	MAGNOLIOPHYTA
CLASE	:	LILIOPSIDA
SUB CLASE	:	LILIIDAE
ORDEN	:	LILIALES
FAMILIA	:	PONTEDERIACEAE
GENERO	:	Eichornia
ESPECIE	:	<i>Eichornia crassipes (Mart.) Solms.</i>
N.V.	:	"jacinto de agua"

Se expide la certificación correspondiente a solicitud de la interesada para los fines que estime conveniente.

Ayacucho, 03 de febrero del 2017

LAURA AUCASIME MEDINA
BIÓLOGA
Reg. C.B.P. N° 583 C.R. - XIII

Anexo 21. Matriz de consistencia.

Título. Remoción del cromo mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua), Ayacucho 2016 a 2017

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Será posible la remoción del cromo en el agua mediante el uso de <i>Lemna minor</i> (Lenteja de agua) y <i>Eichornia crassipes</i> (Jacinto de agua)?	Objetivo general Evaluar la remoción de los niveles de cromo en el agua mediante el uso de especies vegetales como la <i>Lemna minor</i> (Lenteja de agua) y <i>Eichornia crassipes</i> (Jacinto de agua). Objetivos específicos Establecer la capacidad de remoción de cromo por la <i>Lemna minor</i> (Lenteja de agua). Establecer la capacidad de remoción de cromo por la <i>Eichornia crassipes</i> (Jacinto de agua). Comparar la efectividad de los diferentes tratamientos en la remoción del cromo. Identificar los cambios morfológicos de las especies vegetales durante el tratamiento.	Antecedentes Remoción Metales pesados Macrófitas flotantes Contaminación del agua Metales pesados y toxicidad Bioquímica del cromo Toxicidad del cromo Esencialidad del cromo en la planta Transporte y acumulación de cromo en plantas Cromo hexavalente Cromo trivalente Situación del cromo em Ayacucho. Macrófitas flotantes Tipos de macrófitas Mecanismos de respuesta a de las plantas a la presencia de metales pesados. Mecanismo de tolerancia a metales pesados las plantas. Quelación de los metales en las plantas <i>Eichornia crassipes</i> <i>Lemna minor</i>	El uso de especies vegetales <i>Lemna minor</i> (Lenteja de agua) y <i>Eichornia crassipes</i> (Jacinto de agua) remueven los niveles de cromo en el agua.	Variable dependiente: Concentración de Cr Indicador: Porcentaje (%) Variable independiente: Tipo de planta Indicador: - <i>Lemna minor</i> (Lenteja de agua) - <i>Eichornia crassipes</i> (Jacinto de agua)	Tipo y nivel de Investigación Básica - Experimental Población biológica: Especímenes de <i>Lemna minor</i> y <i>Eichornia crassipes</i>. Muestra biológica: 20 especímenes de <i>Eichornia crassipes</i> y 500 g de <i>Lemna minor</i> Población estadística: N = 9 Muestra: n = 3 Unidad experimental: Tratamiento A: 2 especímenes de <i>Eichornia crassipes</i> + 20 ppm de cromo + 6 L de agua Tratamiento B: 30 gr de <i>Lemna minor</i> + 20 ppm de cromo + 6 L de agua Tratamiento C: 1 espécimen de <i>Eichornia crassipes</i> + 15 gr. de <i>Lemna minor</i> + 20 ppm de cromo + 6 L de agua Diseño de estudio Diseño completamente randomizado (DCR) 3. Diseño estadístico Análisis de varianza al 95%

**UNSCH**FACULTAD DE
CIENCIAS BIOLÓGICAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. Florinda ATAUCUSI FLORES
RESOLUCIÓN DECANAL N° 234-2024-UNSCH-FCB-D

En la ciudad de Ayacucho, siendo las diez de la mañana del diecinueve de junio del año dos mil veinticuatro; se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, presidido por el Dr. Saturnino Martín TENORIO BAUTISTA; Dr. Carlos Emilio CARRASCO BADAJOZ (Miembro – Jurado); MS. Elmer Alcides AVALOS PÉREZ (Miembro – Asesor); Dr. Pedro AYALA GÓMEZ (Miembro - 4to. Jurado); actuando como secretario docente el Mg. Jime Jack RIVERA VILLAR; para presenciar la sustentación de tesis titulada: **Remoción del cromo mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua), Ayacucho, 2016 a 2017**; presentado por la Bach. **Florinda ATAUCUSI FLORES**; el presidente luego de verificar la documentación presentada, indicó al secretario docente dar lectura a la documentación generada que refrenda el presente acto académico, luego de ello dispuso el inicio al acto de sustentación, indicando a la sustentante que dispone de cuarenta y cinco minutos para exponer su trabajo de investigación tal como establece el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Biología. Culminada la exposición, el presidente invitó a cada uno de los Miembros del Jurado a participar con sus observaciones, sugerencias y preguntas a la sustentante. Culminada esta etapa, el presidente invitó a la sustentante y al público asistente a abandonar momentáneamente el Auditorio para que los miembros del jurado evaluador puedan realizar las deliberaciones y calificaciones; cuyos resultados son los que se consignan a continuación:

Miembros del Jurado Evaluador	Exposición	Respuesta a preguntas	Promedio
Dr. Carlos Emilio CARRASCO BADAJOZ	16	16	16
Dr. Pedro AYALA GÓMEZ	17	16	17
		PROMEDIO	17

La sustentante alcanzó el promedio de 17 aprobatorio. Acto seguido, el presidente autorizó el ingreso de la sustentante y el público al Auditorio dando a conocer los resultados e indicando que de este modo se da por finalizado el presente acto académico, siendo las doce y veinte del medio día; firmando al pie del presente en señal de conformidad.

Dr. Saturnino Martín TENORIO BAUTISTA
Presidente

Dr. Carlos Emilio CARRASCO BADAJOZ
Miembro – Jurado

Dr. Pedro AYALA GÓMEZ
Miembro – 4to Jurado

MS. Elmer Alcides AVALOS PÉREZ
Miembro – Asesor

Mg. Jime Jack RIVERA VILLAR
Secretario – Docente



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

DECANATURA - ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

Nº 49-2024-FCB-D

Yo, FIDEL RODOLFO MUJICA LENGUA, Director de la Escuela Profesional de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; autoridad encargada de verificar la tesis titulada: **Remoción del cromo mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua), Ayacucho, 2016 a 2017**, por FLORINDA ATAUCUSI FLORES; he constatado por medio del uso de la herramienta TURNITIN, procesado CON DEPÓSITO, una similitud de 12%, grado de coincidencia, menor a lo que determina la ausencia de plagio definido por el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario Nº 039-2021-UNSCH-CU.

En consecuencia, la tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se acompaña el INFORME FINAL DE TURNITIN correspondiente.

Ayacucho, 07 de agosto de 2024.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
Escuela Profesional de Biología
Dr. Fidel R. Mujica Lengua
DIRECTOR

Remoción del cromo mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua) y Eichornia crassipes (Jacinto de agua), Ayacucho, 2016 a 2017

por Florinda ATAUCUSI FLORES

Fecha de entrega: 05-ago-2024 06:45p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2427885445

Nombre del archivo: ATAUCUSI_FLORES-Florinda-Pregrado_Tesis_-_2024_TURNITIN_PDF.pdf (1,005.15K)

Total de palabras: 8897

Total de caracteres: 45452

Remoción del cromo mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua) y Eichornia crassipes (Jacinto de agua), Ayacucho, 2016 a 2017

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	3%
	Trabajo del estudiante	

2	docplayer.es	2%
	Fuente de Internet	

3	repositorio.unac.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	

4	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	

5	www1.inecol.edu.mx	1%
	Fuente de Internet	

6	repositorio.unfv.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	

7	scielo.iics.una.py	1%
	Fuente de Internet	

8	repositorio.unp.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	

9

tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

10

RIVERA MEDINA VANESSA. "Informe de Gestión Ambiental del Proyecto Mejoramiento del Servicio de Agua en el Sistema de Riego Canal Cachi-Huanta-Distrito Huanta-Huanta-Ayacucho-IGA0013057", R.D.G. N° 530-2018-MINAGRI-DVIAR-DGAAA, 2021

Publicación

<1 %

11

Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León

Trabajo del estudiante

<1 %

12

dspace.esPOCH.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

13

aprenderly.com

Fuente de Internet

<1 %

14

www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo