TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y BIOLÓGICAS

CARRERA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA MARINA

“Capacidad de remoción de macroelementos, aniones, boro y metales pesados de *Hydrocharis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Byng & Christenh. en condiciones de laboratorio”

Tesis para optar el título profesional de:

BIÓLOGA MARINA

Presentado por:

Maybe Alejandra Ruiz Merino (0000-0002-4387-9567)

Asesor:

Hector Alonso Aponte Ubillús (0000-0001-5249-9534)

Lima – Perú

2023

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y BIOLÓGICAS

CARRERA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA MARINA

“Capacidad de remoción de macroelementos, aniones, boro y metales pesados de *Hydrocharis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Byng & Christenh. en condiciones de laboratorio”

Tesis para optar el título profesional de:

BIÓLOGA MARINA

Presentado por:

Maybe Alejandra Ruiz Merino (0000-0002-4387-9567)

Asesor:

Hector Alonso Aponte Ubillús (0000-0001-5249-9534)

Lima – Perú

2023

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 01 de setiembre de 2023.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. Harol Gutiérrez Peralta
Integrante: Mg. Oscar Reátegui Arévalo
Integrante: Blga. Sara Rosa Guadalupe Sánchez Rivas

Se reúnen para evaluar la tesis titulada: Capacidad de remoción de macroelementos, aniones, boro y metales pesados de Hydrocharis laevigata (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Byng & Christenh. en condiciones de laboratorio

Presentada por la tesista:

- Maybe Alejandra Ruiz Merino

Para optar el Título Profesional de Biólogo Marino

Asesorada por: Dr. Héctor Alonso Aponte Ubillús

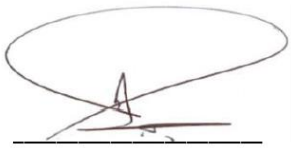
Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiantes en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: Maybe Alejandra Ruiz Merino			Nota (escrito): dieciseis
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (X)	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Dr. Harol Gutiérrez Peralta
Presidente del jurado



Mg. Oscar Reátegui Arévalo
Miembro del jurado



Blga. Sara Rosa Guadalupe Sánchez Rivas
Miembro del jurado



Dr. Héctor Alonso Aponte Ubillús
Asesor

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN[1]

Lima, 10 de Octubre del 2023

Señor,

Percy Manuel Mayta Tristán

Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

De nuestra consideración,

Yo: Maybe Ruiz Merino egresado de la carrera de Biología Marina de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor de tesis Héctor Aponte Ubillús declaramos que este informe final de tesis/trabajo de investigación titulado: Capacidad de remoción de macroelementos, aniones, boro y metales pesados de *Hydrocharis laevigata* en condiciones de laboratorio sustentado para obtener el título de Bióloga Marina es original.

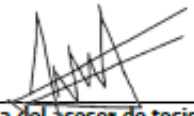
Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mi (nuestra) investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos [2], que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



Firma tesista
DNI: 72739491



Firma del asesor de tesis
DNI: 42815994

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Capacidad de remoción de macroelementos, aniones, boro y metales pesados de *Hydrocharis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Byng & Christenh. en condiciones de laboratorio

Autores. Maybe Alejandra Ruiz Merino.

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2195765361).

Resultado de la evaluación. 8%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



Capacidad de remoción

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%	7%	1%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	2%
2	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	1%
5	sappg.ufes.br Fuente de Internet	<1%
6	Mónica Chillarón Pérez. "Análisis y desarrollo de algoritmos de altas prestaciones para reconstrucción de imagen médica TAC 3D basados en la reducción de dosis.", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 Publicación	<1%

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Científica del Sur por otorgar la Beca Cabieses que permitió el financiamiento de este proyecto y por la facilitación para el uso de sus instalaciones y equipos/materiales; a SERFOR por brindarnos los permisos correspondientes (RA Nº D000891-2921-MIDAGRI-SERFOR-ATFFS-LIMA) para la colecta de la especie y a las personas que me ayudaron en las diferentes etapas del proyecto: Angela, Arianne, Cristina, Keller, Greaisy, Luciano, Marla y Romina.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

RESUMEN

Hydrocharis laevigata es una planta acuática flotante que presenta características de interés para su aplicación en fitorremediación, forraje de organismos acuáticos y captadora de carbono, dado su rápido crecimiento, alta producción de biomasa y alto potencial para la bioacumulación de contaminantes. En los últimos años, los esfuerzos en investigación se han enfocado en optimizar su propagación y aumentar su productividad en sistemas controlados. El objetivo del presente trabajo fue evaluar y cuantificar la capacidad de remoción de macroelementos, aniones, boro y metales pesados de *H. laevigata* en condiciones de laboratorio. Se utilizaron dos tratamientos con densidades de un 50% a 70% de biomasa vegetal de capacidad de carga. Se analizó la variación de la sustancia en el agua (ΔMA, mg/L), la tasa de remoción (TR, mg. L^{-1}. $día^{-1}$), la eficiencia de remoción (ER, %) y la tasa de crecimiento relativo (TCR). Se determinó que la especie removió el Cu, Fe, Mn, Zn, NO_3-, Cl^-, Mg, Ca, Na y K. No hubo diferencias entre ambos tratamientos para la ER% y la TR, se tuvo una ER% < 50% para el Cu, Fe, NO_3-, Cl^-, Ca, Na y K; y una ER% > 50% para el Mn (80%) y Zn (70-72%). La TCR en el tratamiento T50 (0,06) fue mayor que en el tratamiento T70 (0,03). Los resultados muestran la capacidad de *H. laevigata* para remover múltiples metales en simultáneo lo que nos sugiere que esta especie tiene potencial para fitorremediación.

Palabras claves: eficiencia de remoción, biorremediación, *Hydrocharis laevigata*, plantas acuáticas, remoción de metales pesados

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ABSTRACT

Hydrocharis laevigata is a floating aquatic plant that presents characteristics of interest for its application in phytoremediation, forage of aquatic organisms, and carbon capture, given its rapid growth, high biomass production, and high potential for bioaccumulation of pollutants. In recent years, research efforts have focused on optimizing its propagation and increasing its productivity in controlled systems. The objective of this work was to evaluate and quantify the removal capacity of *H. laevigata* for macroelements, anions, boron and heavy metals under laboratory conditions. Two treatments with densities of 50% to 70% of vegetal biomass of carrying capacity were used. The variation of the substance in the water (ΔMA, mg/L), the removal rate (TR, mg. L^{-1}. day^{-1}), the removal efficiency (ER, %) and the relative growth rate (TCR) were analyzed. There were no differences between the two treatments for ER% and RT, there was an ER% < 50% for Cu, Fe, $NO3^-$, Cl^-, Ca, Na and K; and an ER% > 50% for Mn (80%) and Zn (70-72%). The TCR in the T50 treatment (0.06) was higher than in the T70 treatment (0.03). The results show the ability of *H. laevigata* to remove multiple metals simultaneously, which suggests that this species has potential for phytoremediation.

Keywords: removal efficiency, bioremediation, *Hydrocharis laevigata*, aquatic plants, heavy metal removal

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Capacidad de remoción de macroelementos, aniones, boro y metales pesados de *Hydrocharis laevigata* en condiciones de laboratorio

Removal capacity of macroelements, anions, boron and heavy metals of *Hydrocharis laevigata* under laboratory conditions

Ruiz-M, Maybe[1,2]* & Aponte, Héctor[1,2]

[1]Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas. Escuela de Biología Marina. Universidad Científica del Sur. Carr. Panamericana Sur km 19, Villa El Salvador – Lima 42, Perú.

[2] Coastal Ecosystems of Peru Research Group - COE - Perú

Maybe Ruiz-Merino: maybe.ruiz.m@gmail.com

Héctor Aponte: haponte@cientifica.edu.pe

*Autor de correspondencia

RESUMEN

Hydrocharis laevigata es una planta acuática flotante que presenta características de interés para su aplicación en fitorremediación, forraje de organismos acuáticos y captadora de carbono, dado su rápido crecimiento, alta producción de biomasa y alto potencial para la bioacumulación de contaminantes. En los últimos años, los esfuerzos en investigación se han enfocado en optimizar su propagación y aumentar su productividad en sistemas controlados. El objetivo del presente trabajo fue evaluar y cuantificar la capacidad de remoción de macroelementos, aniones, boro y metales pesados de *H. laevigata* en condiciones de laboratorio. Se utilizaron dos tratamientos con densidades de un 50% a 70% de biomasa vegetal de capacidad de carga. Se analizó la variación de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

la sustancia en el agua (ΔMA, mg/L), la tasa de remoción (TR, mg. L^{-1}. $día^{-1}$), la eficiencia de remoción (ER, %) y la tasa de crecimiento relativo (TCR). Se determinó que la especie removió el Cu, Fe, Mn, Zn, NO_3-, Cl^-, Mg, Ca, Na y K. No hubo diferencias entre ambos tratamientos para la ER% y la TR, se tuvo una ER% < 50% para el Cu, Fe, NO_3-, Cl^-, Ca, Na y K; y una ER% > 50% para el Mn (80%) y Zn (70-72%). La TCR en el tratamiento T50 (0,06) fue mayor que en el tratamiento T70 (0,03). Los resultados muestran la capacidad de *H. laevigata* para remover múltiples metales en simultáneo lo que nos sugiere que esta especie tiene potencial para fitorremediación.

Palabras claves: eficiencia de remoción, biorremediación, *Hydrocharis laevigata*, plantas acuáticas, remoción de metales pesados

ABSTRACT

Hydrocharis laevigata is a floating aquatic plant that presents characteristics of interest for its application in phytoremediation, forage of aquatic organisms, and carbon capture, given its rapid growth, high biomass production, and high potential for bioaccumulation of pollutants. In recent years, research efforts have focused on optimizing its propagation and increasing its productivity in controlled systems. The objective of this work was to evaluate and quantify the removal capacity of *H. laevigata* for macroelements, anions, boron and heavy metals under laboratory conditions. Two treatments with densities of 50% to 70% of vegetal biomass of carrying capacity were used. The variation of the substance in the water (ΔMA, mg/L), the removal rate (TR, mg. L^{-1}. day^{-1}), the removal efficiency (ER, %) and the relative growth rate (TCR) were analyzed. There were no differences between the two treatments for ER% and RT, there was an ER% < 50% for Cu, Fe, $NO3^-$, Cl^-, Ca, Na and K; and an ER% > 50% for Mn (80%) and Zn (70-72%). The TCR in the T50 treatment (0.06) was higher than in the T70 treatment (0.03). The results show the ability of *H.*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

laevigata to remove multiple metals simultaneously, which suggests that this species has potential for phytoremediation.

Keywords: removal efficiency, bioremediation, *Hydrocharis laevigata*, aquatic plants, heavy metal removal

INTRODUCCIÓN

Las plantas acuáticas son organismos vegetales adaptados a vivir y crecer en ambientes acuáticos, tales como ríos, lagos, estanques y océanos (Bonilla-Barbosa y Santamaría 2010). Estas hidrófitas desempeñan un papel crucial en los ecosistemas acuáticos, debido a que contribuyen con la producción de oxígeno, brindan hábitats y refugio para diversas especies marinas, colaboran en el mantenimiento de la calidad del agua al absorber nutrientes y sustancias contaminantes orgánicas e inorgánicas, y estabilizan los sedimentos (Santhakumaran *et al.* 2020). Además, tienen aplicaciones prácticas, en la fitorremediación son empleadas para purificar cuerpos de agua contaminados de origen antropogénico, y también se utilizan en la ornamentación de acuarios y estanques (Kadono 2004, Chang *et al.* 2016, Bao *et al.* 2020).

Numerosas plantas acuáticas flotantes son utilizadas como fitorremediadoras; géneros como *Lemna*, *Eichhornia*, *Spirodela*, *Azolla*, *Wolffiella* y *Wolffia* han demostrado una alta eficiencia para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua mediante la bioacumulación en sus tejidos vegetales (Ansari *et al.* 2020). Plantas acuáticas como *Pistia stratiotes* L., *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms y *Lemna minor* L. se emplean específicamente para eliminar iones metálicos presentes en el sistema acuático; de ellas, *E. crassipes* es capaz de biodegradar contaminantes inorgánicos al concentrar iones metálicos como Zinc (Zn), cobre (Cu), cadmio (Cd), Cromo (Cr) y plomo (Pb) (Sharma *et al.* 2018). Para que una especie sea seleccionada en fitorremediación debe

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

cumplir con ciertos criterios tales como: la capacidad de absorber distintos tipos de metales pesados, presentar una alta tasa de acumulación de estos incluso en concentraciones bajas, ser de fácil cosecha, ser resistente a plagas y enfermedades y, mostrar una aplicación amigable con el medio ambiente (Rezania *et al.* 2015).

La capacidad de las plantas para acumular metales y sobrevivir sin sufrir daños en sus tejidos aéreos ha despertado un gran interés científico. Este fenómeno se debe a su capacidad de biodegradar y transformar los metales en formas no tóxicas (Prasad *et al.* 1999). Para lograr esta tolerancia, las plantas han desarrollado una serie de mecanismos, entre los que se incluye la formación de complejos metálicos, la unión de metales en la pared celular, la quelación de iones metálicos con proteínas y péptidos, y el transporte activo de los metales a las vacuolas (Laghlimi *et al.* 2015). Es interesante destacar que las plantas acuáticas, en particular aquellas con un alto índice de crecimiento y producción de biomasa, son especialmente eficientes en la absorción de contaminantes y continúan su crecimiento de manera óptima (Celis *et al.* 2005, Benítez *et al.* 2008, Martelo y Borrero 2012, Laghlimi *et al.* 2015). Estos hallazgos resaltan la importancia de comprender los mecanismos que permiten a las plantas adaptarse y tolerar la presencia de metales en su entorno.

El impacto negativo en el desarrollo y crecimiento de las plantas debido a la acumulación de metales tóxicos ha sido ampliamente estudiado, cuando se supera el umbral de tolerancia, se pueden observar efectos indeseables en sus raíces, tallos y hojas (Emamverdian *et al.* 2015). Kumar *et al.* (2017) informaron que la exposición de *P. stratiotes* a efluentes de una fábrica de azúcar, que contenían Mn, Zn, Fe, Cu, Cd, Cr y Pb, resultó en síntomas como amarillamiento de las hojas, clorosis y necrosis. De manera similar, un estudio llevado a cabo por Mishra y Tripathi (2009) demostró que la exposición de *Eichhornia crassipes* a iones de cromo en concentraciones de 10 a

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

20 mg/l provoca amarillamiento de las hojas, clorosis y desprendimiento de las raíces; también, se encontró que el contenido de clorofila, azúcar y proteína en las plantas disminuye conforme aumenta la concentración de metales y el tiempo de exposición, por lo que resulta importante tomar en consideración estos factores cuando se realizan estudios que involucren exposición de especies vegetales a metales pesados.

Una especie promisoria para el tratamiento de aguas contaminadas es *Hydrocharis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Byng & Christenh., esta planta acuática se distribuye en áreas subtropicales y tropicales desde Norteamérica a Sudamérica (Lourenço y Bove 2017). En Perú se ha reportado en las regiones de Loreto, Ucayali y Lima (Brako y Zarucchi 1993; Ramírez y Cano 2010). En los últimos años, esta macrófita flotante se ha convertido en una especie de interés debido a que presenta características como un rápido crecimiento, es captadora de carbono, tiene potencial como forraje, es de rápida propagación y se considera fitorremediadora para el tratamiento de aguas servidas (Valderrama 1996, Aponte *et al.* 2013, Aponte 2016, Arán *et al.* 2017). Por estas propiedades ha sido objeto de múltiples estudios con la finalidad de aumentar su productividad y maximizar su propagación en sistemas controlados (Aponte y Pacherres 2013, Aponte 2016, Campos y Aponte 2020, Troncoso y Aponte 2020). Siendo entonces la especie una planta acuática promisoria para la reducción de compuestos en el agua, esta investigación buscó evaluar la capacidad de remoción de *H. laevigata* en una solución compuesta por múltiples metales pesados, boro, aniones y macroelementos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta y Limpieza

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Se colectaron 6 kg de biomasa de *H. laevigata* situada en la zona de amortiguamiento del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (18L 284263.97 Este, 8649114.35 Sur, 5 msnm). Las muestras fueron llevadas a las instalaciones de la Universidad Científica del Sur, donde se realizó la experimentación.

A diferencia de estudios previos (Aponte y Pacherres 2013, Aponte 2016, 2017, Campos y Aponte 2020, Troncoso y Aponte 2020) las plantas no fueron sometidas a una etapa de aclimatación; esto, para evitar su exposición al medio de cultivo que tiene por característica su enriquecimiento con metales y macroelementos (Aponte y Pacherres 2013). Las plantas fueron limpiadas con agua, retirando impurezas y organismos presentes como algas e insectos.

Diseño experimental

Cada unidad experimental estuvo conformada por tanques de 30 L (60 cm x 60 cm x 15 cm) los cuales contenían una solución hidropónica comercial al 25% (siguiendo los lineamientos y recomendaciones de Aponte y Pacherres 2013, tabla 1). En dichas unidades experimentales se colocaron 349 g (50% de la capacidad de carga, T50) y 488 g (70% de la capacidad de carga, T70) las cuales definieron respectivamente los tratamientos; la elección de estas densidades permite que la población siga creciendo ya que son menores a su capacidad de carga (0.19 g/cm^2, Aponte 2016). Por cada tratamiento hubo 4 unidades experimentales (réplicas).

El experimento tuvo una duración de 7 días, diariamente se registraron la temperatura ambiental y del agua (°C), la humedad (%), iluminación (lux) y pH del agua. La tabla 1 muestra las condiciones del laboratorio durante la etapa experimental. Las unidades experimentales fueron mantenidas al volumen inicial (30 L) durante todo el experimento, para compensar la evaporación se completó con agua destilada cuando era necesario.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Al finalizar el experimento se obtuvo la biomasa seca total (g) y la tasa de crecimiento relativa (TCR) usando la fórmula desarrollada en Hoffmann y Poorter (2002):

$$TCR = \frac{\frac{LnWf - LnWi}{t2 - t1}}{}$$

donde WF y Wi representan el peso húmedo final e inicial de cada unidad experimental y la diferencia de tiempos (*t2-t1*) corresponde al número de días que duró el experimento (7 días).

Evaluación de macroelementos, compuestos químicos y metales pesados en agua

Para evaluar los macroelementos (K, Na, Mg y Ca), metaloide (boro), metales pesados (como Mn, Cu, Fe, Zn) y aniones (SO_4^{-2}, NO_3^-, Cl^-) en el agua, se tomaron muestras de cada tratamiento al inicio (3 réplicas) y al final del experimento (4 réplicas por tratamiento), estas fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina en donde se realizó la determinación de K, Na, Mg, Ca, Mn, Cu, Fe y Zn por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer Analyst 200); el B, SO_4^{-2} y NO_3^- fueron determinados por colorimetría; y los cloruros fueron determinados por titulación con $AgNO_3$. Los procedimientos para estos análisis se encuentran detallados en Chapman *et al.* (1973).

Se calculó la concentración del elemento/sustancia en el agua al inicio (Mai) y al final (Maf) del experimento. Con estos valores se realizó el cálculo de la diferencia del elemento/sustancia en el agua (△MA) usando la siguiente ecuación:

$$\triangle MA = Mai - Maf \ldots (1)$$

Los valores hallados en esta ecuación representan el metal removido del agua y absorbido por la planta.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Los valores de △MA nos permitieron estimar la eficiencia de remoción de cada tratamiento (ER%) usando la siguiente ecuación:

$$ER\% = \frac{\triangle MA \,.100}{Mai} \ldots (2)$$

La tasa de remoción (TR) por día fue calculada dividiendo △MA entre el número de días del experimento tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$TR = \frac{\triangle MA}{7} \ldots (3)$$

Análisis estadísticos

Se realizó un análisis estadístico descriptivo (promedio, desviación estándar y coeficiente de variación) para el △MA, ER%, TR y TCR; el análisis del △MA se acompañó de gráficos de barras. Adicionalmente, se compararon los valores iniciales y finales dentro de cada tratamiento usando la prueba de t de student previa verificación de la normalidad (Jarque - Bera) y de homocedasticidad (Bartlett). Se compararon el △MA, ER%, TR y la TCR entre los dos tratamientos (T50 y T70) para cada uno de los elementos usando la prueba de t de student previa verificación de la normalidad (Jarque - Bera) y de homocedasticidad (Bartlett). Los gráficos y los análisis correspondientes se desarrollaron en los programas R versión 4.1.1 (Rstudio Team 2021, de acceso libre), Excel 2013© y SPSS versión 22 (en los dos últimos utilizando la licencia de la Universidad Científica del Sur).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos para el △MA se presentan en la Fig. 1 y en el Material suplementario (tabla S1); en ellos se aprecia que el tratamiento T50 muestra una disminución en la concentración del Ca, Mn, Cl^-, Cu, Mg, Fe, K, Zn, Na y NO_3^-; en el caso del Mn, Mg, Fe, NO_3^-, K y Zn ($p<0.05$)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

las diferencias son respaldadas por el análisis estadístico ($p<0.05$). Por el contrario, al final del experimento se observa una mayor concentración de SO_4^{-2} y B en el agua; siendo esta diferencia significativa solo para el SO_4^{-2} ($p<0.05$). En el tratamiento T70 se observa una disminución de Ca, Mn, Cu, Mg, Fe, K, Zn y NO_3^-, (similar a lo obtenido en el tratamiento T50); se soportan estadísticamente las diferencias para el Mn, Fe, Zn y NO_3^- ($p<0.05$). Por otro parte, en el caso del Na, SO_4^{-2}, Cl^- y B, el T70 muestra un aumento de las concentraciones al final del experimento, siendo significativo estadísticamente para el B y SO_4^{-2} ($p<0.05$). No se encontraron diferencias ($p>0.05$ en la prueba t de student) al comparar el △MA entre los tratamientos para todos los metales, boro, aniones y macroelementos.

La ER% para todos los elementos se presentan en la tabla 2. Para el T50 se observa que el Mn y Zn presentan ER% mayores al 50%, mientras que el Cu, Fe, NO_3^-, Cl^-, Mg, Ca, Na y K muestran ER% menores; solo el B y SO_4^{-2} presentan ER% negativos. En el tratamiento T70 encontramos ER% del Mn y Zn mayores al 50%, mientras que el Cu, Fe, NO_3^-, Mg, Ca y K tuvieron valores más bajos; para el caso del B, SO_4^{-2}, Cl^- y Na se muestran valores negativos. No se encontraron diferencias ($p>0.05$) al comparar la ER% de cada elemento/sustancia entre tratamientos. La ER% para cada elemento varió en cada tratamiento experimental obteniendo para la T50 un orden descendente de $Mn<Zn<Fe<NO_3^-<Mg<K<Cu<Ca<Cl-<Na<B<SO_4^{-2}$; para el T70 el orden descendente de la ER% fue de $Mn<Zn<Fe<NO_3^-<K<Cu<Ca<Mg<Cl-<Na<B<SO_4^{-2}$.

La TR del T50 tuvo valores más bajos que 1 mg. L^{-1}. $día^{-1}$ para el Cu, Fe, Mn y Zn; para el Mg, Na y K la TR estuvo entre 10 - 100 mg. L^{-1}. $día^{-1}$, la TR para NO_3^-, Cl^- y Ca fueron las más altas con valores > 100 mg. L^{-1}. $día^{-1}$; y la TR para el B y SO_4^{-2} fueron negativas (tabla 2). El tratamiento T70, tuvo TR menores a 1 mg. L^{-1}. $día^{-1}$ para el Cu, Fe, Mn y Zn; para el NO_3^-, Mg, Ca y K la TR

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

estuvo entre 10 - 100 mg. L^{-1}. $día^{-1}$; y la TR para el B, SO_4^{-2}, Cl^- y Na fueron negativas. No se encontraron diferencias ($p>0.05$) en la TR de cada elemento/sustancia entre tratamientos.

Al finalizar el experimento se obtuvo la TCR para cada tratamiento experimental. El tratamiento T50 obtuvo la mayor tasa de crecimiento relativo de 0,06 ± 18,78% (0,04 – 0,07) con una ganancia en biomasa de 5,66 g ± 12,19% (5,06 – 6,41), mientras que el tratamiento T70 tuvo una TCR de 0,03 ± 11,84% (0,03 – 0,04) con una ganancia en biomasa de 5,06 g ± 23,15% (4,09 – 6,36); las diferencias se soportan estadísticamente ($p<0,05$).

DISCUSIÓN

El presente estudio muestra la capacidad que tiene *H. laevigata* para remover metales pesados, boro, aniones y macroelementos de forma conjunta; esto puede ser apreciado a partir de los valores obtenidos del △MA (Fig. 1). A pesar de que las plantas acuáticas flotantes toman los metales a través de sus raíces, los metales absorbidos podrían retornar al sistema desde su tejido vegetal; incluso, el metal podría ser liberado al aire en forma gaseosa desde la superficie de las hojas (Bennicelli *et al.* 2004, Du *et al.* 2020). Esto último explicaría los valores negativos de △MA para el B, $SO4^{-2}$, Cl^- y Na, los cuales podrían deberse a un retorno de metales/elementos por medio de la descomposición y muerte de las plantas en los tratamientos experimentales; este fenómeno ha sido apreciado, por ejemplo, en investigaciones realizadas con *Pistia stratiotes* (Lu *et al.* 2011).

La capacidad de absorción de metales pesados por parte de las plantas acuáticas plantea la posibilidad de utilizarlas como herramientas para la remediación y el monitoreo biológico de aguas contaminadas (Wang 1991, Sawidis *et al.* 1995, Ravera 2001, Zurayk *et al.* 2001, Cardwell *et al.* 2002). Si bien absorben estos metales mediante hojas, tallos y raíces, y lo acumulan en los órganos, este proceso es selectivo; la acumulación y distribución de los metales pesados en la planta

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

dependerá de la biodisponibilidad, pH, especie vegetal, oxígeno disuelto, temperatura, secreción de raíces y capacidad de intercambio catiónico (Buta *et al.* 2011). Para que las plantas limiten el ingreso de los metales, pueden inmovilizarlos o activar barreras selectivas en la membrana plasmática al alcanzar su límite de absorción de metales; cuando ocurre una sobreacumulación de iones metálicos en el tejido vegetal, las plantas saturan los sitios de unión, reduciendo más adelante la tasa de eliminación de metales; cuando se tienen concentraciones externas bajas la absorción de metales aumenta, esto debido al proceso de intercambio iónico menos competitivo (Prasad *et al.* 1999). Cabe resaltar, que la presencia de otros metales en el medio afecta la absorción de metales en las plantas acuáticas debido a la competencia por la unión de metales en la pared celular de la planta; por ejemplo, la absorción de Cd^{+2} disminuye cuando aumenta la concentración de Zn^{+2} y se observa una tasa más lenta de absorción de metales en el sistema multimetálico que en el sistema con la presencia de un solo metal; esto ocurre debido a la competencia entre los metales mencionados por los sitios de intercambio de metales similares de las plantas, lo que limita la eficiencia de absorción de múltiples metales durante el metabolismo (O'Keeffe *et al.* 1984, Hardy y Raber 1985, Hasan *et al.* 2007). Bajo este contexto, se podría explicar porque en el presente estudio obtuvimos diferentes TR para cada elemento/sustancia. Si comparamos la TR de *H. laevigata* con otras especies de plantas acuáticas como *Myriophylhum aquaticum*, *Ludwigina palustris* y *Mentha aquaticum* encontramos que estas presentan tasas de remoción de 0,48 mg. L^{-1}. $día^{-1}$ para Zn, 0,11 mg. L^{-1}. $día^{-1}$ para Cu y entre 7 - 0,41 mg. L^{-1}. $día^{-1}$ para Fe (Kamal *et al.* 2004); en este estudio observamos valores menores para los mismos metales (tabla 2); la presente investigación sometió la especie a múltiples compuestos en simultáneo, no siendo necesariamente así en los estudios previamente descritos.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Si bien la ER% de los elementos fue distinta para cada componente, son notorios los valores obtenidos para el Zn y Mn, los cuales superan el 50% (tabla 2). Al comparar la eficiencia de remoción con otros estudios, encontramos en la literatura resultados similares para *H. laevigata* donde se obtuvo un ER% de 98% para el Zn en un periodo de exposición de 4 días (Fernández *et al.* 2018); es importante considerar que las condiciones de experimentación fueron diferentes en ambos trabajos (en Fernández *et al.* 2018 se sometió a *H. laevigata* al metal de manera individual, mientras que en el presente estudio la especie fue sometida a una solución que tenía zinc como uno de sus componentes). También se hallaron resultados que coinciden con el presente trabajo en otras especies como *Lemna gibba* L., esta planta acuática mostró una eficiencia de remoción de Zn entre 65 y 70 % durante los primeros dos días y de 89 - 100% después de un periodo de exposición de 10 días (Megateli *et al.* 2009); las diferencias pueden deberse a la concentración de Zn a la que fueron expuestas (1,49 mg/L para este trabajo, 10^{-1} y 30 mg/L para el estudio con *L. gibba*). La ER% es un parámetro que se ha evaluado en numerosas plantas acuáticas, por ejemplo, en *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*; donde se obtuvieron porcentajes de remoción entre 77 y 95% para metales pesados como Fe, Cu, Zn, Cd y Cr en un periodo de exposición de 12 días (Mishra y Tripathi 2008). Estos antecedentes nos indican que las plantas acuáticas son eficaces para la remoción de metales pesados como el Zn, Fe y Cu, metales que fueron evaluados en el presente estudio de manera conjunta obteniendo para algunos casos una ER% mayor al 50% (tabla 2). No obstante, los estudios previos exponen a las especies a los metales independientemente; estudios posteriores que analicen la ER% con los metales de forma independiente podrían probar si la ER% para cada elemento se mantiene en *H. laevigata*.

Generalmente, las plantas acuáticas con altas tasas de crecimiento y productividad son eficientes para acumular contaminantes (Celis *et al.* 2005, Benítez *et al.* 2008, Laghlimi *et al.* 2015, Martelo

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

y Borrero 2012). *H. laevigata* tiene esas características lo que nos permite catalogarla como una especie potencial para remover metales pesados (Aponte y Pacherres 2013). Las diferencias en los valores de TCR entre tratamientos sugiere que cuando la biomasa es menor, la especie tiene más espacio disponible para seguir creciendo, al llegar a su capacidad de carga la planta deja de crecer; esto ha sido descrito detalladamente en estudios previos (Aponte 2016). En el presente estudio el tratamiento con menor biomasa (T50) tuvo una TCR más alta confirmando lo descrito; cabe resaltar, que en este estudio se escogieron el 50% y 70% de la capacidad de carga conocida para esta especie; resultados distintos de remoción de elementos podrían obtenerse con valores menores al 50%. Por otro lado, cuando una planta es sometida a concentraciones altas de un metal, se pueden presentar tasas de crecimiento negativas; por ejemplo, estudios realizados en *E. crassipes* muestran una disminución en su crecimiento (una TCR negativa) frente a un aumento de la concentración de Cd (>4 ppm) y Zn (de 2 a 12 ppm) (Hasan *et al*. 2007). En el presente estudio, las concentraciones de metales no son similares a las descritas por Hasan *et al.* (2007), buscando por el contrario las mejores condiciones para su crecimiento (siguiendo las recomendaciones de Aponte y Pacherres 2013), esto explica porque no se apreciaron valores negativos de la TCR.

Se puede observar una remoción del K y NO_3^- (11% y 24 % de ER% respectivamente) en los tratamientos; esto podría ser el reflejo de la importancia de estos elementos para el metabolismo y crecimiento de las plantas. Los NO_3^- presentan un rol importante en el metabolismo de los iones como el K^+, dentro de la planta; la recirculación de cationes depende de la presencia del NO_3^-, estas últimas son absorbidas mediante las raíces de la planta y trasladadas a las hojas; por cada ion reducido de NO_3^- se genera un ion malato y, junto al K^+, son transportados nuevamente a las raíces, donde se produce finalmente la mayor absorción de NO_3^- (Cui y Tcherkez 2021). Es gracias a este mecanismo que la recirculación del K^+ se ve favorecida, sin embargo, cuando disminuye la

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

concentración del NO_3^- en las hojas, la circulación del K^+ es menor (Zioni *et al.* 1971). Este contexto nos explica la importancia de estas moléculas en el crecimiento de *H. laevigata*. Otros iones como el Ca y Mg no son absorbidos cuando el NH_4^+ abunda en el medio ya que impiden la recirculación eficaz de cationes en la planta, provocando un desequilibrio nutricional (Van Beusichem *et al.* 1988). La baja concentración de NH_4^+ en la solución utilizada (el nitrógeno es añadido en forma de nitrato) previene esa respuesta en las plantas y favorece la absorción del Ca y Mg tal como fue observado en el presente estudio.

El presente estudio sienta las bases para posteriores trabajos que evalúen la capacidad de remoción en *H. laevigata*. Asimismo, se reafirma el potencial de la especie como fitorremediadora y se sugieren estudios que permitan conocer mayor detalle de su metabolismo para los metales (por ejemplo, evaluando cada metal de forma aislada y posteriores estudios en condiciones de campo).

CONCLUSIÓN

H. laevigata tiene la capacidad para remover metales pesados (Cu, Fe, Mn y Zn), aniones (NO_3^- y Cl^-) y macroelementos (Mg, Ca, Na y K) de manera conjunta, por lo que puede ser aplicada para la remediación de efluentes que contengan este tipo de sustancias (como aguas residuales, municipales e industriales, provenientes de fuentes agrícolas o urbanas, entre otras). Las ER% más altas obtenidas fueron de 80% para Mn y 70-72% para Zn, mientras que el B y el $SO4^{-2}$ presentan una escasa ER%. Se recomienda realizar ensayos con otros compuestos químicos inorgánicos y orgánicos.

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

MARM concepción, diseño, toma de datos, análisis y escritura del documento. HAU concepción, diseño, análisis y escritura del documento.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Científica del Sur por otorgar la Beca Cabieses que permitió el financiamiento de este proyecto y por la facilitación para el uso de sus instalaciones y equipos/materiales; a SERFOR por brindarnos los permisos correspondientes (RA Nº D000891-2921-MIDAGRI-SERFOR-ATFFS-LIMA) para la colecta de la especie y a las personas que me ayudaron en las diferentes etapas del proyecto: Angela, Arianne, Cristina, Keller, Greaisy, Luciano, Marla y Romina.

LITERATURA CITADA

Ansari A, Naeem M, Gill S, AlZuaibr F. 2020. Phytoremediation of contaminated waters: An eco-friendly technology based on aquatic macrophytes application. Egypt. J. Aquat. Res. 46(4): 371–376. doi: https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.03.002

Aponte H, Pacherres CO. 2013. Crecimiento y propagación de *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae) bajo diferentes concentraciones de nutrientes. Biol. 11(1):69-78.

Aponte H, Segura C, Francia JC. 2013. Análisis químico proximal de *Limnobium laevigatum* y su potencial para su uso como forraje. Científica. 10(2):158-67.

Aponte H. 2016. Crecimiento de *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae) bajo diferentes condiciones lumínicas. Biol. 14(2):297-305.

Aponte H. 2017. Productividad de *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae) bajo condiciones de laboratorio. Polibotánica 44:157-166. doi: https://doi.org/10.18387/polibotanica.44.12

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Arán DS, Harguinteguy CA, Fernandez-Cirelli A, Pignata ML. 2017. Phytoextraction of Pb, Cr, Ni, and Zn using the aquatic plant *Limnobium laevigatum* and its potential use in the treatment of wastewater. Environ. Sci. Pollut. R. 24(22) :18295-18308. doi: https://doi.org/10.1007/s11356-017-9464-9

Ashraf S, Afzal M, Naveed M, Shahid M, Zahir Z. 2018. Endophytic bacteria enhance remediation of tannery effluent in constructed wetlands vegetated with *Leptochloa fusca*. Int. J. Phytoremediat. 20(2): 121–128. doi: https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1337072

Bao P, Li G-X, He Y-Q, Ren H-Y. 2020. Selenium nanovirus and its cytotoxicity in selenite-exposed higher living organisms. Biochem. Biophys. Rep. 21:100733. doi: https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2020.100733

Benítez S, Zapata J, Ramírez N. 2008. Análisis comparativo de la remoción de un sustrato orgánico por las macrófitas *Pistia stratiotes* y *Egeria densa* en un sistema batch. Gest. Ambiente. 11(2): 39–48.

Bennett L, Burkhead J, Hale K, Terry N, Pilon M, Pilon-Smits E. 2003. Analysis of transgenic Indian mustard plants for phytoremediation of metal-contaminated mine tailings. J. Environ. Qual. 32(2): 432–440. doi: https://doi.org/10.2134/jeq2003.4320

Bennicelli R, Ste¸pniewska Z, Banach A, Szajnocha K, Ostrowski J. 2004. The ability of *Azolla caroliniana* to remove heavy metals (Hg(II), Cr(III), Cr(VI)) from municipal waste water. Chemosphere. 55(1): 141–146. doi: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.11.015

Bonilla-Barbosa J y Santamaría B. 2010. Hydrocharitaceae. Flora del Bajío y de Regiones adyacentes. Acta. Bot. Mex. 168:1-11.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Brako L, Zarucchi JL. 1993. Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Perú. Ann. Mo. Bot. Gard. 45:1- 1286.

Buta E, Paulette L, Mihaiescu T, Buta M, Cantor M. 2011. The influence of heavy metals on growth and development of *Eichhornia crassipes* species, cultivated in contaminated water. Not. Bot. Horti Agrobot. 39(2): 135–141. doi: https://doi.org/10.15835/nbha3926095

Campos-Cuellar R, Aponte H. 2020. Crecimiento de *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae) bajo cuatro proporciones diferentes de NO 3-: NH 4+ en condiciones de laboratorio. Polibotánica 49:97-107. doi: https://doi.org/10.18387/polibotanica.50.7

Cardwell A, Hawker D, Greenway M. 2002. Metal accumulation in aquatic macrophytes from southeast Queensland, Australia. Chemosphere. 48(7): 653-663. doi: https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00164-9.

Celis J, Junod J, Sandoval M. 2005. Recientes aportes en la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. Theoria 14 (1): 17–25.

Chang Y, Zhu P, Wu B, Zhuang T. 2016. The study of green energy equipment with floating plants to purify the sewage water. J. Taiwan Agric. Eng. 62: 77-88.

Chapman H, Pratt P, Vanselow A, Bradford G, Whiting L, Contin A. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas.

Cook CDK, Urmi-Konig K. 1983. A revision of the genus *Limnobium* including Hydromystria (Hydrocharitaceae). Aquat. Bot. 17(1):1–27. doi: https://doi.org/10.1016/0304-3770(83)90015-3

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Cui J, Tcherkez. 2021. Potassium dependency of enzymes in plant primary metabolism. Plant Physiol Bioch. 166: 522-530. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.017

Du Y, Wu Q, Kong D, Shi Y, Huang X, Luo D, Chen Z, Xiao T, Leung J. 2020. Accumulation and translocation of heavy metals in water hyacinth: Maximising the use of green resources to remediate sites impacted by e-waste recycling activities. Ecol. Indic. 115. doi: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106384

Emamverdian A, Ding Y, Mokhberdoran F, Xie Y. 2015. Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response. Sci. World J. 2015. doi: https://doi.org/10.1155/2015/756120

Fernández San Juan MR, Albornoz CB, Larsen K, Najle R. 2018. Bioaccumulation of heavy metals in *Limnobium laevigatum* and *Ludwigia peploides*: their phytoremediation potential in water contaminated with heavy metals. Environ. Earth. Sci. 77(11):404. doi: https://doi.org/10.1007/s12665-018-7566-4

Hardy J, Raber N. 1985. Zinc uptake by the water hyacinth: Effects of solution factors. Chemosphere. 14(9): 1155–1166. doi: https://doi.org/10.1016/0045-6535(85)90137-7

Hasan S, Talat M, Rai S. 2007. Sorption of cadmium and zinc from aqueous solutions by water hyacinth (*Eichchornia crassipes*). Bioresour. Technol. 98(4): 918–928. doi: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.042

Hoffmann W, Poorter H. 2002. Avoiding Bias in Calculations of Relative Growth Rate. Ann Bot-London. 90(1): 37-42. doi: https://doi.org/10.1093/aob/mcf140

Kadono Y. 2004. Alien aquatic plants naturalized in Japan: History and present status. Glob. Environ. Res. 8(2):163-169.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Kamal M, Ghaly A, Mahmoud N, Côté R. 2004. Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic plants. Environment International. 29(8): 1029-1039. https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00091-6.

Kumar V, Singh J, Pathak V, Ahmad S, Kothari R. 2017. Experimental and kinetics study for phytoremediation of sugar mill effluent using water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) and its end use for biogas production. 3 Biotech. 7(5): 330. doi: https://doi.org/10.1007/s13205-017-0963-7

Laghlimi M, Baghdad B, Hadi H, Bouabdli A. 2015. Phytoremediation mechanisms of heavy metal contaminated soils: A review. Open J. Ecol. 5(08): 375.

Lourenço AR, Bove CP. 2017. Flora of Rio de Janeiro: Hydrocharitaceae. Rodriguésia 68(1):43-50. doi: https://doi.org/10.1590/2175-7860201768108

Lu Q, He Z, Graetz D, Stoffella P, Yang X. 2011. Uptake and distribution of metals by water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). Environmental Science and Pollution Research. 18: 978-986. doi: https://doi.org/10.1007/s11356-011-0453-0

Martelo J, Lara Borrero J. 2012. Macrófitas flutuantes no tratamento de águas residuais: uma revisão do estado da arte. Ingeniería y ciencia, 8(15): 221-243. doi: https://doi.org/10.17230/ingciencia.8.15.11

Mays P, Edwards G. 2001. Comparison of heavy metal accumulation in a natural wetland and constructed wetlands receiving acid mine drainage. Ecological engineering, 16(4): 487-500. doi: https://doi.org/10.1016/S0925-8574(00)00112-9

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Megateli S, Semsari S, Couderchet M. 2009. Toxicity and removal of heavy metals (cadmium, copper, and zinc) by *Lemna gibba*. Ecotoxicology and environmental safety. 72(6):1774-1780. doi: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.05.004

Mishra V, Tripathi B. 2009. Accumulation of chromium and zinc from aqueous solutions using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). Journal of Hazardous Materials. 164(2-3): 1059-1063. doi: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.09.020

O'Keeffe D, Hardy, J K, Rao R. 1984. Cadmium uptake by the water hyacinth: effects of solution factors. Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological. 34(2): 133-147. doi: https://doi.org/10.1016/0143-1471(84)90054-0

Pang Y, Quek Y, Lim S, Shuit S. 2023. Review on Phytoremediation Potential of Floating Aquatic Plants for Heavy Metals: A Promising Approach. Sustainability. 15(2): 1290. doi: https://doi.org/10.3390/su15021290

Prasad M, Hagemeyer J, Greger M. 1999. Metal availability and bioconcentration in plants. Heavy Metal Stress in Plants: From Molecules to Ecosystems. 1–27. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-662-07745-0_1

Ramírez DW, Cano A. 2011. Estado de la diversidad de la flora vascular de los pantanos de Villa (Lima, Perú). Rev. Perú. Biol. 17(1):11-114. doi: https://doi.org/10.15381/rpb.v17i1.58

Ravera, O. 2001. Monitoring of the aquatic environment by species accumulator of pollutants: a review. Journal of Limnology. 60(1s): 63-78. doi: https://doi.org/10.4081/jlimnol.2001.s1.63.

Rezania S, Ponraj M, Talaiekhozani A, Mohamad , Din M, Taib S, Sairan F. 2015. Perspectives of phytoremediation using water hyacinth for removal of heavy metals, organic and inorganic

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

pollutants in wastewater. Journal of environmental management. 163: 125-133. doi: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.018.

Santhakumaran P, Ayyappan S, Ray J. 2020. Nutraceutical applications of twenty-five species of rapid-growing green-microalgae as indicated by their antibacterial, antioxidant and mineral content. Algal Res. 47: 101878 doi: https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101878

Sawidis T, Marnasidis A, Zachariadis G, Stratis J. 1995. A study of air pollution with heavy metals in Thessaloniki city (Greece) using trees as biological indicators. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 28: 118-124. doi: https://doi.org/10.1007/BF00213976

Sharma S, Singh B, Manchanda V. 2015. Phytoremediation: role of terrestrial plants and aquatic macrophytes in the remediation of radionuclides and heavy metal contaminated soil and water. Environmental Science and Pollution Research. 22: 946-962. doi: https://doi.org/10.1007/s11356-014-3635-8.

Sharma S, Tiwari S, Hasan A, Saxena V, Pandey L. 2018. Recent advances in conventional and contemporary methods for remediation of heavy metal-contaminated soils. 3 Biotech. 8: 1-18. doi: https://doi.org/10.1007/s13205-018-1237-8.

Stoltz E, Greger M. 2002. Accumulation properties of As, Cd, Cu, Pb and Zn by four wetland plant species growing on submerged mine tailings. Environmental and experimental botany. 47(3): 271-280. doi: https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00002-3.

Troncoso-Gómez A, Aponte H. 2020. Influencia de la salinidad y aireación en el crecimiento de la planta acuática *Limnobium laevigatum* (Humb. & Bonpl. Ex Willd) Heine. Ecol. Apl. 19(1): 1-7. doi: http://dx.doi.org/10.21704/rea.v19i1.1440

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Valderrama L. 1996. Uso de dos especies de Macrófitas acuáticas, *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales. Universitas scientiarum. 3(1-2):83-97.

Van Beusichem M, Kirkby E, Baas R. 1988. Influence of nitrate and ammonium nutrition on the uptake, assimilation, and distribution of nutrients in *Ricinus communis*. Plant Physiology, 86(3): 914-921. doi: https://doi.org/10.1104/pp.86.3.914

Wang A, Angle J, Chaney R, Delorme T, Reeves R. 2006. Soil pH effects on uptake of Cd and Zn by *Thlaspi caerulescens*. Plant and soil. 281: 325-337. doi: https://doi.org/10.1007/s11104-005-4642-9

Zioni A, Vaadia Y, Lips, S. 1971. Nitrate uptake by roots as regulated by nitrate reduction products of the shoot. Physiologia plantarum. 24(2): 288-290. doi: https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1971.tb03493.x

Zurayk R, Sukkariyah B, Baalbaki R. 2001. Common hydrophytes as bioindicators of nickel, chromium and cadmium pollution. Water, Air, and Soil Pollution. 127: 373-388. doi: https://doi.org/10.1023/A:1005209823111

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 1. Condiciones de iluminación, temperatura, pH y humedad durante el experimento. Asimismo, se muestran las concentraciones iniciales (mg/L) de los metales, boro, aniones y macroelementos en la solución. Se muestra el Promedio ± coeficiente de Variación (%) (Mínimo - Máximo).

Parámetro	Promedio ± CV (%) (Mín. – Max.)
Iluminación (lux)	14527,63 ± 98,17 (3550,00 – 45300,00)
Temperatura del agua (°C)	23,79 ± 2,97 (22,63 – 25,00)
pH del agua	7,77 ± 0,83 (7,51 – 7,86)
Temperatura Laboratorio (°C)	24,62 ± 4,89 (22,30 – 26,90)
Humedad relativa (%)	51,89 ± 18,85 (42,00 – 78,00)
B	60,20 ± 1,75 (59,10 – 61,20)
Cu	0,79 ± 5,80 (0,75 – 0,84)
Fe	7,94 ± 6,99 (7,59 – 8,58)
Mn	3,62 ± 4,71 (3,48 – 3,81)
Zn	1,49 ± 6,47 (1,38 – 1,56)
SO_4^{-2}	7113,60 ± 0,81 (7056,00 – 7171,20)
NO_3^-	2935,80 ± 0,98 (2910,60 – 2967,30)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Cl^-	45191,50 ± 1,42 (44517,00 – 45795,00)
Mg	3881,47 ± 1,20 (3830,40 – 3921,60)
Ca	12700,00 ± 3,62 (12420,00 – 13230,00)
Na	16511,70 ± 1,64 (16263,30 – 16801,50)
K	2421,90 ± 4,66 (2340,00 – 2550,60)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

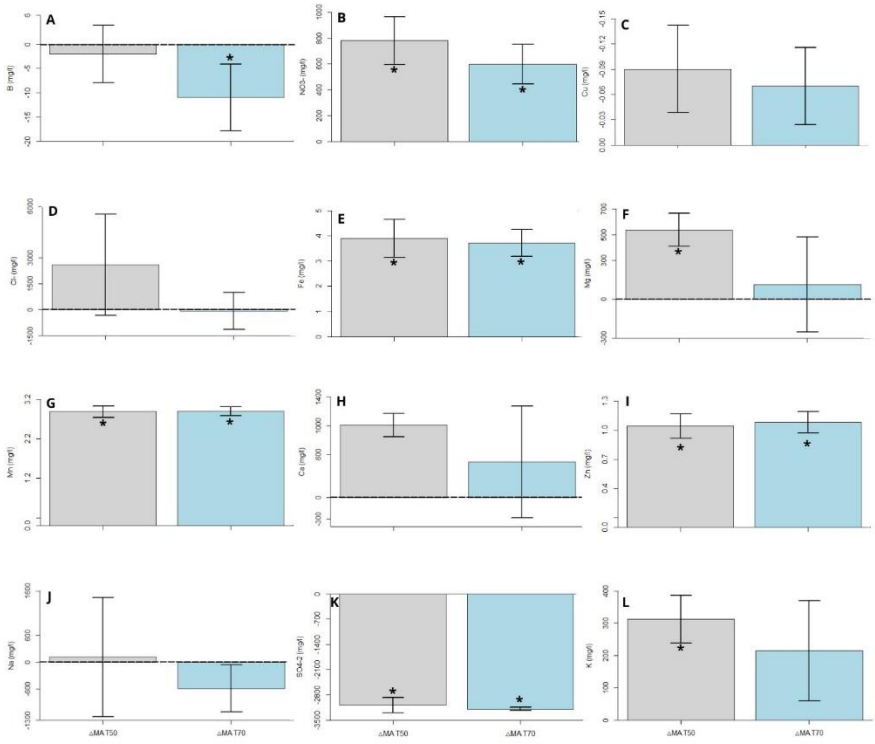


Figura 1. △MA del B (A), NO_3^- (B), Cu (C), Cl^- (D), Fe (E), Mg (F), Mn (G), Ca (H), Zn (I), Na (J), SO_4^{-2} (K), K (L) en cada tratamiento experimental. Las llaves representan la desviación estándar. Los asteriscos indican un valor de $p<0,05$ para la prueba de t de student al comparar el inicio y final del experimento. La línea punteada representa el valor cero para el eje Y.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 2. Eficiencia de remoción (ER, %) y tasa de remoción (TR, mg. L^{-1}. $día^{-1}$) en *Hydrocharis laevigata* para cada elemento/sustancia en los tratamientos experimentales. Se muestra el Promedio ± CV (%) [Mínimo – Máximo]

Elemento/sustancia	ER%		TR	
	T50	T70	T50	T70
Metaloide				
B	-3,41 ± 287,07 [-9,95 – 7,84]	-18,40 ± 63,96 [-31,98 – (-11,27)]	-0,29 ± 295,97 [-0,86 – 0,69]	-1,57 ± 62,21 [-2,70 – (-0,99)]
Metales				
Cu	11,65 ± 60,12 [3,57 – 16,00]	8,71 ± 60,34 [3,85 – 14,29]	0,01 ± 57,74 [0,00 – 0,02]	0,01 ± 65,47 [0,00 – 0,02]
Fe	48,85 ± 12,00 [45,06 – 55,59]	46,71 ± 7,95 [42,69 – 50,00]	0,56 ± 19,35 [0,49 – 0,68]	0,53 ± 14,27 [0,46 – 0,61]
Mn	79,83 ± 0,91 [78,99 – 80,31]	80,13 ± 0,99 [79,53 – 81,03]	0,41 ± 5,12 [0,40 – 0,44]	0,41 ± 3,92 [0,40 – 0,43]
Zn	69,63 ± 5,77 [65,22 – 73,08]	72,37 ± 3,76 [69,57 – 75,00]	0,15 ± 12,01 [0,13 – 0,16]	0,15 ± 10,02 [0,14 – 0,17]

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Aniones				
SO_4^{-2}	-43,38 ± 6,83 [-46,76 – (-41,22)]	-44,88 ± 2,01 [-45,92 – (-44,33)]	-440,91 ± 6,99 [-475,20 – (-415,54)]	-456 ± 1,38 [-462,86 – (-450,51)]
NO_3^-	26,65 ± 24,51 [19,11 – 30,52]	20,39 ± 25,85 [16,88 – 26,45]	111,60 ± 23,75 [81,00 – 126,90]	85,50 ± 25,72 [70,20 – 110,70]
Cl^-	5,68 ± 113,86 [-1,67 –10,47]	-0,15 ± 1567,11 [-2,33 – 2,35]	370,21 ± 113,39 [-106,50 – 684,64]	-10,14 ± 1509,97 [-152,14 – 152,14]
Macroelementos				
Mg	13,87 ± 24,71 [10,05 – 16,67]	2,85 ± 334,38 [-7,90 – 10,22]	76,78 ± 23,75 [56,28 – 91,20]	16,16 ± 325,60 [-43,25 – 56,80]
Ca	7,99 ± 19,35 [6,35 – 9,42]	3,85 ± 158,03 [-3,14 – 7,94]	144,29 ± 16,36 [120,00 – 167,14]	71,43 ± 155,58 [-55,71 – 150,00]
Na	0,61 ± 1336,97 [-8,82 – 5,38]	-3,53 ± 88,92 [-7,15 – (-1,44)]	16,1 ± 1189,56 [-205,03 – 129,13]	-84,11 ± 90,36 [-171,51 – (-33,51)]
K	12,93 ± 25,81	8,74 ± 71,92	44,57 ± 23,82	30,64 ± 72,43

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

	[10,55 – 16,75]	[1,50 – 12,81]	[38,44 – 56,83]	[5,01 – 43,46]

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

MATERIAL SUPLEMENTARIO

Tabla S1. Valores de △MA (mg/l) en *Hydrocharis laevigata* para elemento/sustancia en los tratamientos experimentales. El asterisco representa la diferencia significativa entre tratamientos. Se muestra el Promedio ± CV (%)

Elemento/sustancia	△MA T50	△MA T70
Metaloide		
B	-2,00 ± 295,97	-11,00 ± 62,21 (*)
Metales		
Cu	0,09 ± 57,74	0,07 ± 65,47
Fe	3,90 ± 19,35 (*)	3,72 ± 14,27 (*)
Mn	2,89 ± 5,12 (*)	2,90 ± 3,92 (*)
Zn	1,04 ± 12,01 (*)	1,08 ± 10,02 (*)
Aniones		
SO_4^{-2}	-3086,40 ± 6,99 (*)	-3192,00 ± 1,38 (*)
NO_3^-	781,20 ± 23,75 (*)	598,50 ± 25,72 (*)
Cl^-	2591,50 ± 113,39	-71,00 ± 1509,97
Macroelementos		
Mg	537,47 ± 23,75 (*)	113,09 ± 325,60
Ca	1010,00 ± 16,36	500,00 ± 155,58
Na	112,70 ± 1189,56	-588,80 ± 90,36
K	312,00 ± 23,82 (*)	214,50 ± 72,43

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Gmail **MAYBE RUIZ <maybe.ruiz.m@gmail.com>**

[Caldasia] Acuse de recibo del envío

1 mensaje

Julián Andrés Aguirre Santoro <revcaldasia_bog@unal.edu.co> 5 de octubre de 2023, 17:55
Para: Maybe Ruiz Merino <maybe.ruiz.m@gmail.com>

Maybe Ruiz Merino:

Gracias por enviar el manuscrito "Capacidad de remoción de macroelementos, aniones, boro y metales pesados de Hydrocharis laevigata en condiciones de laboratorio" a Caldasia. Con el sistema de gestión de publicaciones en línea que utilizamos podrá seguir el progreso a través del proceso editorial tras iniciar sesión en el sitio web de la publicación:

URL del manuscrito: https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/authorDashboard/submission/111441
Nombre de usuario/a: mayberuizmerino

Si tiene alguna duda puede ponerse en contacto conmigo. Gracias por elegir esta editorial para mostrar su trabajo.

Julián Andrés Aguirre Santoro
_____ Revista Caldasia revcaldasia_bog@unal.edu.co
Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales, oficina 314, Cra 30 # 45 - 03, A.A. 7495, Bogotá, Colombia https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal

Aviso legal: El contenido de este mensaje y los archivos adjuntos son confidenciales y de uso exclusivo de la Universidad Nacional de Colombia. Se encuentran dirigidos sólo para el uso del destinatario al cual van enviados. La reproducción, lectura y/o copia se encuentran prohibidas a cualquier persona diferente a este y puede ser ilegal. Si usted lo ha recibido por error, infórmenos y elimínelo de su correo. Los Datos Personales serán tratados conforme a la Ley 1581 de 2012 y a nuestra Política de Datos Personales que podrá consultar en la página web www.unal.edu.co. Las opiniones, informaciones, conclusiones y cualquier otro tipo de dato contenido en este correo electrónico, no relacionados con la actividad de la Universidad Nacional de Colombia, se entenderá como personales y de ninguna manera son avaladas por la Universidad.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN CON ANIMALES Y BIODIVERSIDAD

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Constancia N° 049-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2021

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

Código de registro:	**595-2020-PRE5**
Título:	**Evaluación de la capacidad de captura de macroelementos y metales pesados de *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae) (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine**
Investigador(a):	**Maybe Alejandra Ruiz Merino**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente. Adicionalmente, en el contexto de la pandemia de enfermedad por COVID-19, le recomendamos cumplir con las normas publicadas por el estado peruano.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 22 de setiembre del 2022**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 23 de marzo de 2021

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR - UCSUR - Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad

Méd. Vet. Gianmarco Paolo Rojas Moreno
Presidente
Comité Institucional de Ética en Investigación
con Animales y Biodiversidad

Asesoría al postulante
T //(511) 610 6738
informes@científica.edu.pe
• Campus Villa 2 - Panamericana Sur km 19
• Calle Cantuarias 398, Miraflores

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°035-DACBM-DAFCVB-U. CIENTÍFICA-2021

Lima, 29 de marzo del 2021

Visto el proyecto de tesis presentado por la Srta. **Maybe Alejandra Ruiz Merino** estudiante de la Carrera de Biología Marina, se expide la presente Resolución:

CONSIDERANDO:

- Que, para optar el título profesional en Biología Marina, de la Carrera de Biología Marina de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas de la Universidad Científica del Sur, es necesario la realización y sustentación de una tesis.
- Que, el Reglamento de Tesis pertinente, dispone que el Proyecto de Tesis debe ser presentado a la Carrera de acuerdo al perfil aprobado, el cual debe ser dictaminado por el Comité de Investigación.
- Que, la estudiante **Maybe Alejandra Ruiz Merino** ha cumplido con presentar su proyecto de tesis titulado **"Evaluación de la capacidad de captura de macroelementos y metales pesados de Limnobium laevigatum (Hydrocharitaceae) (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) Heine** bajo la asesoría del Biólogo **Héctor Alonso Aponte Ubillús**.
- Que la Comisión de Grados y Títulos de la Dirección ha emitido una evaluación favorable y recomienda la inscripción del proyecto citado.

Estando a lo dispuesto por el Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Científica del Sur, el Reglamento de Tesis de la Carrera y a las normas vigentes, en uso de las atribuciones conferidas a la Carrera,

SE RESUELVE:

1º **APROBAR** el Proyecto de Tesis para optar el título profesional en Biología Marina titulado **"Evaluación de la capacidad de captura de macroelementos y metales pesados de Limnobium laevigatum (Hydrocharitaceae) (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) Heine "**

2° Declarar la Srta. **Maybe Alejandra Ruiz Merino,** expedita para la realización del Proyecto de Tesis aprobado.

3° Nombrar al Blgo. **Héctor Alonso Aponte Ubillús** como Asesor del Proyecto de Tesis, que realizará el estudiante citado.

4º Disponer la inscripción del proyecto de tesis aprobado en el Registro de Tesis para optar el Título Profesional de la Carrera de Biología Marina de la CIENTÍFICA.

Regístrese, comuníquese y archívese.

FACULTAD CIENCIAS VETERINARIAS Y BIOLÓGICAS · CIENTÍFICA · DIRECTORA ACADÉMICA

DRA. SONIA VALLE RUBIO
DIRECTORA ACADÉMICA
CARRERA BIOLOGÍA MARINA

T // (511) 610 6738
informes@cientifica.edu.pe
cientifica.edu.pe

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

CIENTÍFICA
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DCO-CPA-4.01 FORMATO DE TRASLADO DE ACTIVOS FIJOS

TIPOS DE TRASLADO: INTERNO [X] EXTERNO [ ]

SEDE QUE ENTREGA EL ACTIVO FIJO: Laboratorios académicos del pabellón N

FECHA DEL TRASLADO: 14.03.22

DETALLAR EL MOTIVO DEL TRASLADO: Los equipos solicitados serán usados para el desarrollo de la parte experimental de mi proyecto de tesis

SEGÚN EL TIPO DE TRASLADO LLENAR LOS SIGUIENTES CAMPOS

TRASLADOS INTERNOS:

SEDE Y/O AREA QUE RECEPCIONA EL ACTIVO FIJO: Laboratorio de investigación N - 101

TRASLADOS EXTERNOS:

PRESTACIÓN DE SERVICIO EDUCATIVO [ ] MANTENIMIENTO O REPARACÓN [ ] DIFUSIÓN DE MARKETING/VENTAS [ ]

EMPRESA O ESTABLECIMIENTO DONDE SE TRASLADAN LOS BIENES:

DIRECCIÓN:

NOMBRE DE LA PERSONA QUE RECEPCIONA EL ACTIVO FIJO:

TELÉFONO:

ÍTEM	N° DE ETIQUETA	DESCRIPCIÓN DEL ACTIVO FIJO
1	G-0047164	01 Luxómetro / modelo: 3251 / número de serie: 160500415/Ubicación: PN-107
2		03 baldes de plástico de 20 L / Ubicación PN-107
3	G-004674	01 tanque polietileno ETERNIT de 350 L / Ubicación: PN - 101
4		Termómetro ambiental /marca: Radioshack / Código: 14236 /Ubicación: PN-105
5		GPS / Ubicación: PN-110

FIRMA Y NOMBRE: DIRECTOR/ JEFE DE SEDE QUE ENTREGA LOS ACTIVOS

FIRMA Y NOMBRE: DIRECTOR/ JEFE DE SEDE QUE RECEPCIONA LOS ACTIVOS

V° B° ÁREA CONTABLE

Héctor Aponte Ubillús
Asesor del proyecto

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis