

APLICACIÓN DE LA BIOMASA DE *Eichhornia crassipes* EN LA REMOCIÓN DE Cd⁺² EN AGUAS CONTAMINADAS POR DESECHOS INDUSTRIALES

APPLICATION OF *Eichhornia crassipes* BIOMASS IN THE REMOVAL OF Cd⁺² IN WATERS CONTAMINATED BY INDUSTRIAL WASTE

Paola Gutiérrez¹, Daniel Aradillas¹, Ismael Acosta¹

(1) Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias Químicas, Laboratorio de Micología Experimental, Av. Dr. Manuel Nava No. 6, Zona Universitaria, CP 78320, San Luis Potosí, SLP-México
(e-mail: iacosta@uaslp.mx)

Recibido: 31/03/2021 - Evaluado: 09/06/2021 - Aceptado: 30/06/2021

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la remoción de Cadmio (II) en solución acuosa por la biomasa del lirio acuático o jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) por el método colorimétrico de la Ditizona, en condiciones de laboratorio, bajo diferentes parámetros como pH, tiempo de incubación, temperatura, concentración del metal y de biomasa. Se encontró que las condiciones óptimas para la remoción son un pH de 6.0, 28°C, y una concentración de 50 mg/L del metal, 5 g de biomasa y 32 horas de incubación. Además, 5 g de biomasa eliminan el 54.2% de Cadmio (II) a partir de aguas contaminadas con 100 mg/L del metal a los 7 días de incubación a 28°C, mientras que la planta viva remueve un 16.2% del metal (50 mg/L) a las 4 semanas a 28°C en condiciones estáticas.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the removal of Cadmium (II) in solution aqueous by the biomass of the aquatic lily or water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) by the Dithizone colorimetric method, under laboratory conditions, with different parameters such as pH, incubation time, temperature, concentration of the metal and biomass. The optimum conditions for removal were found to be a pH of 6.0, 28°C, and a concentration of 50 mg/L of the metal, 5 g of biomass and 32 hours of incubation. In addition, 5 g of biomass removes 54.2% of Cadmium (II) from water contaminated with 100 mg/L of the metal after 7 days of incubation at 28°C, while the living plant removes 16.2% of the metal (50 mg/L) after 4 weeks at 28°C under static conditions.

Palabras clave: remoción, lirio acuático, cadmio (II), ditizona

Key words: removal, aquatic lily, cadmium (II), dithizone

INTRODUCCIÓN

El lirio acuático o jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) es una planta macrófita acuática, que se utiliza como especie ornamental por sus flores llamativas en los estanques y acuarios, es originaria de América del Sur, principalmente en las cuencas Amazónica y de la Plata, y llegó a México al finalizar el siglo XIX, donde se propagó con gran rapidez, hasta convertirse en una plaga dispersándose por todo el país. Los únicos lugares en los que no se ha registrado son los estados de Baja California Sur, Tlaxcala y Zacatecas (Bonilla-Barbosa & Santamaría, 2014). Tiene una alta capacidad de propagación a través de los cuerpos de agua dulce de los trópicos y subtropicos, y se ha extendido a más de 50 países en los cinco continentes (Cartagena Beltrán, 2018). Actualmente, a nivel mundial es una de las principales malezas presentes en agua dulce, debido a su rápida reproducción, crecimiento y alta competitividad. Está considerada entre las 100 especies más invasoras del mundo por la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) (Miranda & Lot Helgueras, 1999) y es una especie que en cuerpos lacustres eutrofizados impacta negativamente a las actividades humanas (pesca, transporte por agua) y a la biodiversidad. Su reproducción ocurre principalmente de forma vegetativa por medio de brotes laterales, que nacen de la base del tallo y crecen horizontalmente, generando raíces adventicias (estolones) (CONABIO, 2012).

Si en el medio ambiente hay una temperatura óptima para su crecimiento, la biomasa de esta planta puede duplicarse en un mes, provocando la formación de colinas flotantes densas, disminuyendo el flujo de agua de los embalses, la cantidad de oxígeno disuelto, el crecimiento de otras plantas acuáticas y afectando también la navegación de los cuerpos de agua, entorpeciendo la actividad pesquera, disminuyendo las actividades turísticas, además de que obstruye los canales de riego y drenaje, incrementa la evapotranspiración, y acelera el asolvamiento de los embalses (Tovar Ramírez *et al.*, 2019). Además, esta planta es utilizada por mosquitos como hospedero de sus larvas, con un alto riesgo de establecimiento, propagación e impactos extremadamente altos, por lo que está considerada como una de las peores malezas a nivel mundial (World's Worst Weeds) (Bonilla-Barbosa, & Santamaría, 2014). Por otra parte, La infestación de ríos, lagos, represas y canales de irrigación provoca que cada año se gasten billones de dólares en programas para el control y erradicación de esta especie, y se estima que en los lagos y presas con mayor actividad económica y social de México, la superficie infestada por las malezas acuáticas es de 62 000 ha, siendo el lirio acuático la principal maleza ya que afecta el 64% de la superficie infestada (Martínez Bolaños, 2014) y prácticamente todos los lagos de México tienen problemas con ésta; por ejemplo, en el Lago de Chapala (Guadalajara), cubre aproximadamente 7000 hectáreas (CONABIO, 2012).

Su composición química consta de celulosa (35%), hemicelulosa (30%) y un bajo contenido de lignina (11.3%), y los grupos funcionales presentes como hidroxilos, carboxilos y aminas en la biomasa seca y molida, tienen la propiedad de captar metales pesados, facilitando el intercambio catiónico entre los enlaces de hidrógeno de los grupos funcionales y el catión presente en la solución (Sayago *et al.*, 2020). Por otra parte, y debido a los altos costos que representa retirar el lirio acuático de estos ecosistemas, se ha considerado desarrollar tecnologías para su manejo, aprovechamiento y la obtención de compuestos que se puedan utilizar en las diferentes industrias, por ejemplo, la obtención de lignina, celulosa y hemicelulosa (Hernández *et al.*, 2015; Tovar Ramírez *et al.*, 2019), su capacidad fitorremediadora en el tratamiento de las aguas residuales (Bernal Nieves, 2015; Vargas Perdomo *et al.*, 2018), mejorar la calidad de agua de colectores acuáticos (Morales Rojas *et al.*, 2019), la producción de biofertilizantes, biogás, etanol, abono verde, vermicompost y azúcares reductores (Cartagena Beltrán, 2018; Matindi, 2016; Mishra & Maiti, 2017; Álvarez Bernal, 2016; Guzmán-Pérez *et al.*, 2021), el efecto de sus extractos metanólicos para el control de la cucaracha americana (*Periplaneta americana*) (Adeleke *et al.*, 2020), e incluso se ha estudiado la capacidad anticancerígena de las raíces del lirio acuático sobre líneas celulares (Mtewa & Sesaaazi, 2020).

Hoy en día, una las grandes aplicaciones de esta planta, es su uso casi siempre viva, para acumular y remover diferentes contaminantes, entre los que se encuentra los metales pesados, por ejemplo: la acumulación de Cobre, Cobalto y Plata (Leenu & Sheela, 2016; Gallardo Pazmiño, 2015), la disminución de Arsénico de aguas de un pueblo de Perú (Rojas Adrianzen & Suyon Diaz, 2020), la fitorremediación y fitoextracción de agua cianurada, Arsénico, Cadmio y Cobre en un humedal artificial con diferentes plantas, de un efluente contaminado con Mercurio en un humedal de Antioquía (Colombia), y de azul de metileno de efluentes contaminados (Gómez Gutiérrez &

Guarín Álvarez, 2020; Islas Olvera, 2020; Domínguez *et al.*, 2016; Lara González, 2017), la remoción de diferentes metales pesados por la biomasa de diferentes plantas acuáticas (*E. crassipes*, *Potamogeton lucens* y *Salvinia herzegoi*) (Ali *et al.*, 2020; Eid *et al.*, 2019; Sandoval Vilchez, 2019), la eliminación de Mercurio, Cadmio y Arsénico de aguas residuales (Mi *et al.*, 2020), el tratamiento de efluentes de la industria textil con el jacinto de agua (Sanmuga Priya & Senthamil Selvan, 2014). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad adsorbente de la biomasa del lirio acuático (*E. crassipes*) en la remoción de Cadmio (II) en solución acuosa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Bioadsorbente utilizado

Inicialmente, la planta del lirio acuático se obtuvo de la Presa de San José, San Luis Potosí, S.L.P. México (Figura 1), durante el mes de marzo de 2020. Para la obtención de la biomasa, la planta se lavó 24 horas con EDTA al 10% (p/v), y posteriormente 1 semana en agua tridesionizada con agitación constante, con cambios de agua cada 12 horas, se calentó a ebullición 60 minutos para remover el polvo y los componentes orgánicos adheridos, se volvió a lavar en las mismas condiciones (Figura 2). Se secó a 80°C, durante 24 horas en horno bacteriológico a 80°C (Felisa), se molió en licuadora y se guardó en frascos ámbar hasta su uso (Figura 3).



Fig. 1: Crecimiento del lirio acuático en la Presa de San José



Fig. 2: Lirio acuático recolectado y lavado.

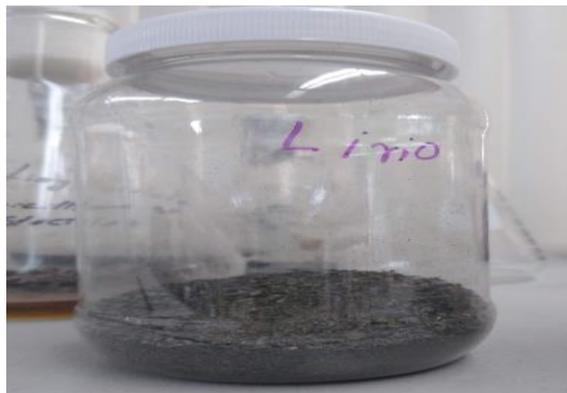


Fig. 3: Biomasa molida y almacenada

Soluciones de Cd (II)

Se trabajó con 100 mL de una solución de 50 mg/L de Cd (II) obtenida por dilución de una solución patrón de 1.0 g/L preparada en agua tridesionizada a partir de CdCl₂. Se ajustó el pH de la dilución a analizar con HNO₃ 1 M y/o NaOH 1 M, antes de adicónarla a la biomasa celular, en un pHmeter 530 (Corning Pinnacle).

Determinación del tiempo de incubación óptimo para la remoción de Cadmio (II)

Para esta determinación, partiendo de una solución estándar de Cd (II) (50 mg/L) en agua tridesionizada; se ajustó a un valor de pH de 5.0. Posteriormente se añadió a un matraz Erlenmeyer de 250 mL, el cual contenía 1 g de biomasa estéril de lirio acuático, 100 mL de la solución estándar del metal, incubándolo a 28°C en un baño con agitación constante a 100 rpm, tomando alícuotas de 5 mL a diferentes tiempos de incubación, el bioadsorbente fue removido por centrifugación (3000 rpm/5 min) y al sobrenadante se le determinó el porcentaje del metal no adsorbido y por diferencia se determinó la cantidad adsorbida por la biomasa. El tiempo óptimo de incubación se determinó mediante la comparación del porcentaje de remoción del metal determinado a los tiempos estipulados.

Determinación del pH óptimo para la remoción de Cadmio (II)

A ocho soluciones estándar de Cd (II) (50 mg/L) en agua tridesionizada; se les ajustó el pH a valores en un rango de 0.0-8.0. Posteriormente se añadieron a ocho matraces Erlenmeyer de 250 mL los cuales contenían 1 g de biomasa estéril de lirio acuático, 100 mL de las soluciones estándar de Cd (II) (50 mg/L) a los valores de pH mencionados, incubándolos a 28°C en un baño con agitación constante a 100 rpm, tomando alícuotas de 5 mL a 0 y 32 horas de incubación, el bioadsorbente fue removido por centrifugación (3000 rpm/5 min) y al sobrenadante se le determinó el porcentaje del metal no adsorbido y por diferencia se determinó la cantidad adsorbida por la biomasa. El pH óptimo de incubación se determinó mediante la comparación del porcentaje de remoción del metal determinado a los tiempos estipulados.

Determinación de la temperatura óptima para la remoción de Cadmio (II).

A cinco soluciones estándar de Cd (II) (50 mg/L) en agua tridesionizada, se les ajustó el pH a un valor de 6.0. Posteriormente se añadieron a cinco matraces Erlenmeyer de 250 mL los cuales contenían 1 g de biomasa estéril de lirio acuático, 100 mL de las soluciones estándar de Cd (II) (50 mg/L), incubándolos a diferentes temperaturas en un baño con agitación constante a 100 rpm, tomando alícuotas de 5 mL a 0 y 32 horas de incubación, el bioadsorbente fue removido por centrifugación (3000 rpm/5 min), y al sobrenadante se le determinó el porcentaje del metal no adsorbido y por diferencia se determinó la cantidad adsorbida por la biomasa. La temperatura óptima de incubación se determinó mediante la comparación del porcentaje de remoción del metal determinado a los tiempos estipulados.

Remoción a diferentes concentraciones de Cadmio (II).

Se prepararon siete soluciones estándar de Cd (II) (concentraciones en un rango de 0-300 mg/L) en agua tridesionizada; se le ajustó el pH a un valor de 6.0. Posteriormente se añadieron a siete matraces Erlenmeyer de 250 mL los cuales contenían 1 g de biomasa estéril de lirio acuático, 100 mL de las soluciones estándar de Cd (II), incubándolos a 28°C en un baño con agitación constante a 100 rpm, tomando alícuotas de 5 mL a 0 y 32 horas de incubación, el bioadsorbente fue removido por centrifugación (3000 rpm/5 min) y al sobrenadante se le determinó el porcentaje del metal no adsorbido y por diferencia se determina la cantidad adsorbida por la biomasa.

Remoción a diferentes concentraciones de biomasa

A cinco soluciones estándar de Cd (II) (50 mg/L) en agua tridesionizada; se le ajustó el pH a un valor de 6.0. Posteriormente se añadieron a cinco matraces Erlenmeyer de 250 mL los cuales contenían 1,2,3,4 y 5 g de biomasa

estéril de lirio acuático, 100 mL de las soluciones estándar de Cd (II), incubándolos a 28°C en un baño con agitación constante a 100 rpm, tomando alícuotas de 5 mL a diferentes tiempos de incubación, el bioadsorbente fue removido por centrifugación (3000 rpm/5 min) y al sobrenadante se le determinó el porcentaje del metal no adsorbido y por diferencia se determina la cantidad adsorbida por la biomasa.

Ensayos de biorremediación

A matraces Erlenmeyer de 250 mL conteniendo 5 g de biomasa, se les agregaron 95 mL de agua contaminada con 100 mg/L de Cd (II), proveniente de efluentes de una laguna de desechos industriales ubicada en la zona poniente de la ciudad de San Luis Potosí, México, y contaminados por dicho metal. La mezcla se incubó a 28°C con agitación constante (100 rpm), y a diferentes intervalos de tiempo se le determinó la concentración de Cd (II) en el sobrenadante, por el método descrito anteriormente.

Remoción de Cadmio (II) in vivo.

Se tomaron dos plantas de lirio acuático (lirio A y lirio B), previamente lavados con 200 mL de agua tridesionizada cada uno. La planta A se colocó en una solución de Cd (II) [50 mg/L, pH 6.0 (ajustado), volumen final de 250 mL], proveniente de un efluente contaminado con el metal (Tanque Tenorio, ubicado al oriente de la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México) mientras que la planta B, se colocó en 250 mL de agua tridesionizada. Posteriormente, se pasaron a una campana de flujo laminar en presencia de luz, y se incubaron a 28°C, en condiciones estáticas, tomando muestras de 5 mL cada semana durante un mes, y se les determinó la concentración de Cd (II) en el sobrenadante.

Estudios de remoción

A las muestras analizadas, se le determinó la concentración del metal en solución, utilizando el método colorimétrico de la Ditzona (desarrollo de una coloración de rosa a rojo). La absorbancia de la muestra se midió en un Espectrofotómetro de luz UV-Visible (Shimadzu modelo 160-A), a una longitud de onda de 518 nm (Greenberg *et al.*, 1998), usando como referencia un blanco preparado con agua tridesionizada de acuerdo con el procedimiento anterior, obteniendo la concentración de Cd (II) de una curva de calibración preparada a partir de una solución estándar del metal, tratada de la misma manera que la muestra, teniendo en cuenta que la concentración mínima detectable es de 0.5 µg/15 mL de solución de Ditzona.

Todos los experimentos se realizaron un mínimo de 2 veces y por duplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizó el efecto del pH, tiempo y temperatura de incubación, la concentración inicial del metal y de la biomasa, sobre la bioadsorción de Cd (II) por la biomasa de lirio acuático. En relación con el tiempo de incubación, se encontró que la mayor bioadsorción (50 mg/L), ocurre a las 32 horas, un pH de 5.0, 1 g de biomasa y 28°C, con una remoción total del 64.1% del metal (Figura 4), y estos resultados son similares para la remoción del mismo metal por el alga verde *Ulva Lactuca*, con 2 g de biomasa, pH 5.2, 20°C y 60 minutos de incubación (Asnaoui *et al.*, 2015), una eficiencia de remoción de 83.57% a partir de agua simulada con 2 mg/L de Cd (II) utilizando *E. crassipes in vivo*, durante 11 días (Sandoval Vilchez 2019), la acumulación de 4 mg/L de Cd y 40 mg/L de Zn por las raíces de la misma planta durante 8 días (Lu *et al.*, 2004), la fitoextracción de As, Cd y Cu, por las especies *E. crassipes*, *Miriophyllum aquaticum* y *Wolffia colombiana* de un humedal artificial (Islas Olvera, 2020), la eliminación de 0.005-0.02 mg/L de Cd (II) de drenajes ácidos mineros con *E. crassipes*, durante 14 días (Palihakkara *et al.*, 2018), la fitorremediación de 0.325 mg/L de Hg de efluentes mineros (Domínguez *et al.*, 2016) y la capacidad de adsorción y la eficiencia de remoción de Pb²⁺ en solución acuosa, por hojas y tallos de *E. crassipes* (Vizcaíno Mendoza *et al.*, 2017), y la eliminación de 60 mg/L del metal a los 90 minutos de incubación para la biomasa del alga *S. platensis* (Al-Homaidan *et al.*, 2015).

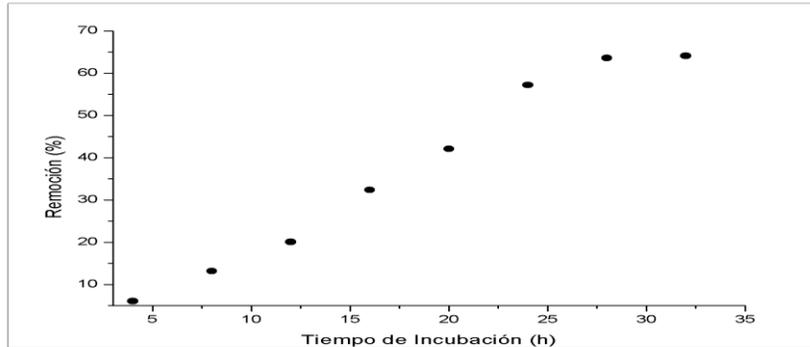


Fig. 4: Efecto del tiempo de incubación sobre la bioadsorción de Cd (II) en solución. 50 mg/L. 1 g de biomasa, 28°C con agitación constante (100 rpm), pH 5.0.

Con respecto al efecto del pH de incubación, se encontró un pH óptimo de 6.0, pues a las 32 horas se remueve el 66% del metal (Figura 5). Estos resultados son similares (pH óptimo de 4.5) para la remoción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna (Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina, 2015), para el alga verde *U. Lactuca*, donde se reporta un pH de 5.2 a los 90 minutos de incubación, para la remoción del mismo metal (Asnaoui *et al.*, 2015), un pH de 5.0 empleando la biomasa del hongo contaminante ambiental *Rhizopus sp.*, con una concentración inicial del metal de 50 mg/L (Apaza-Aquino & Valederrama-Valencia, 2020), también el mismo pH para la remoción de Pb (II) y Cd (II) con la biomasa de la planta *Leucaena leucocephala* (Cimá-Mukul *et al.*, 2019). Pero, son diferentes a lo reportado para la remoción de Cd (II) por el macromiceto *Pleurotus ostreatus* y el hongo micromiceto *Cunninghamella bertholletiae*, en los cuales el pH óptimo fue de 8.5 y 4.0, respectivamente (Chen *et al.*, 2018; Ren *et al.*, 2018), y para la biomasa del alga *Spirulina platensis* (Al-Homaidan *et al.*, 2015). Los grupos funcionales responsables del intercambio iónico y adsorción del metal tienen aproximadamente un valor de pKa de 4, por lo que se desprotona a pH mayores de 4, atrayendo a los cationes de Cd (II), controlando de esta manera la bioadsorción del metal en función al grado de disociación de los grupos funcionales de la biomasa (Shin *et al.*, 2007).

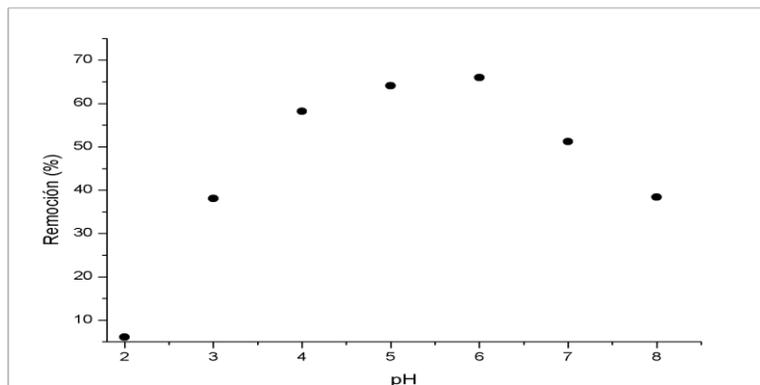


Fig. 5: Efecto del pH sobre la bioadsorción de 50 mg/L de Cd (II) en solución. 1 g de biomasa, 28°C. con agitación constante (100 rpm). 32 horas de incubación.

En relación con la temperatura, la más alta remoción se observó a 28°C (Figura 6), pues a las 32 horas se remueve el 66% del metal en solución; resultados que son coincidentes con los 25°C reportados para la biomasa de *Rhizopus sp.*, con una concentración inicial del metal de 50 mg/L (Apaza-Aquino & Valederrama-Valencia, 2020), los 30°C de la levadura *Candida tropicalis* (Rehman & Anjum, 2010), los 28°C para la biomasa de diferentes hongos

(Acosta *et al.*, 2007), los 26°C para la eliminación de 60 mg/L de Cd (II), por la biomasa del alga *S. platensis* (Al-Homaidan *et al.*, 2015), pero son diferentes a lo reportado para *C. bertholletiae*, en el cual se ha reportado una temperatura óptima de 35°C (Ren *et al.*, 2018). El incremento en la temperatura aumenta la velocidad de remoción del metal y disminuye el tiempo de contacto requerido para la remoción total del metal, por incrementar la velocidad de reacción redox (Apaza-Aquino & Valederrama-Valencia, 2020).

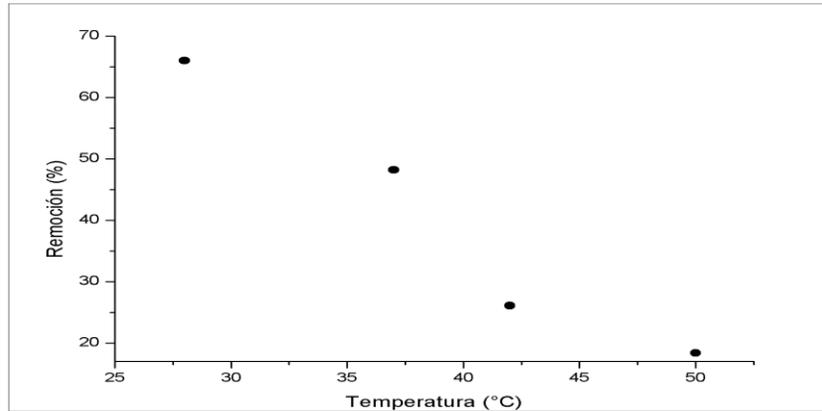


Fig. 6: Efecto de la temperatura sobre la bioadsorción de Cd (II) en solución. 50 mg/L. 1 g de biomasa, pH 6.0, con agitación constante (100 rpm). 32 horas de incubación.

Por otra parte, a bajas concentraciones del metal (50 mg/L), la biomasa estudiada, mostró las mejores respuestas de remoción, adsorbiendo el 66% a las 32 horas, mientras que con 300 mg/L se remueve el 36% al mismo tiempo de incubación, pH de 6.0 +/- 0.2, con 1 g de biomasa, a 28°C y 100 rpm (Figura 7). Estos resultados son similares a los reportados para la remoción de 50 mg/L de Cd (II) por la biomasa de *Rhizopus sp.* (Apaza-Aquino & Valederrama-Valencia, 2020), residuos de cenizas, pues al aumenta la concentración del metal de 1 a 10 mg/L, disminuye la eficiencia de remoción (Olabemiwo *et al.*, 2017), la biomasa de diferentes hongos (Acosta *et al.*, 2007), los residuos lignocelulolíticos de las cáscaras de naranja y arroz (Romano *et al.*, 2020), la eliminación de 60 mg/L de Cd (II), por la biomasa del alga *S. platensis* (Al-Homaidan *et al.*, 2015). Pero, son diferentes para *C. bertholletiae*, en el cual se ha reportado que cuando se aumenta la concentración del metal de 2 a 20 mg/L se incrementa la bioadsorción de éste (Ren *et al.*, 2018).

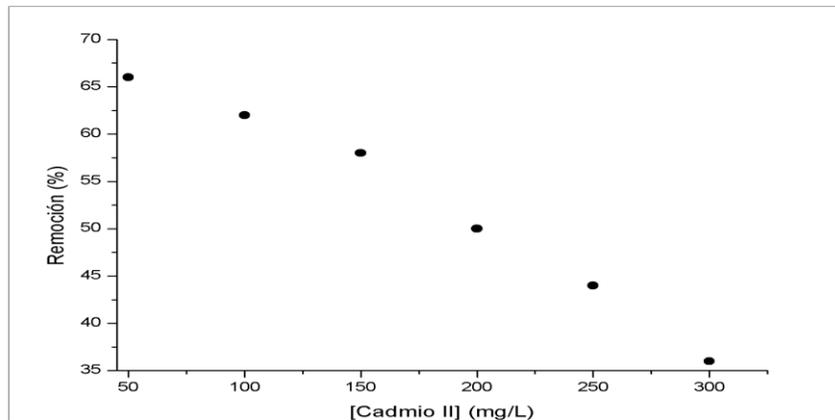


Fig. 7: Efecto de la concentración de Cd (II) en solución. 1 g de biomasa de lirio acuático a 28°C, pH 6.0, con agitación constante (100 rpm). 32 horas de incubación.

En la figura 8, se muestra que, al aumentar la concentración de biomasa, también se incrementa la remoción del metal en solución, ya que 5 g de biomasa remueven 50 mg/L del metal a las 20 horas de incubación, pues hay más sitios de bioadsorción del metal (Cervantes *et al.*, 2001). Se han reportado resultados similares para la remoción de Cd y Pb por la biomasa de hojas de maíz (Astudillo *et al.*, 2020) y *L. leucocephala* (Cimá-Mukul *et al.*, 2019), la remoción de Cd por residuos de cenizas (Olabemiwo *et al.*, 2017), para la biomasa de *Lentinula edodes* modificada con cloruro de magnesio, pues aumenta la eliminación de Cd (II) y Cu (II) al incrementar la cantidad del bioadsorbente de 1 a 5 g/L (Xie *et al.*, 2015) y la biosorción de Pb²⁺ y Cd²⁺, aumenta considerablemente al incrementar la concentración de la biomasa del micromiceto *Lactarius Scrobiculatus* de 0.1 a 4 g/L (Anayurt *et al.*, 2009). Pero, son diferentes para *C. bertholletiae*, en el cual se ha reportado que cuando se aumenta la concentración de la biomasa, disminuye la remoción del metal (Ren *et al.*, 2018), y los 2 g/L de la biomasa del alga *S. platensis* para la eliminación de 60 mg/L de Cd (II) (Al-Homaidan *et al.*, 2015).

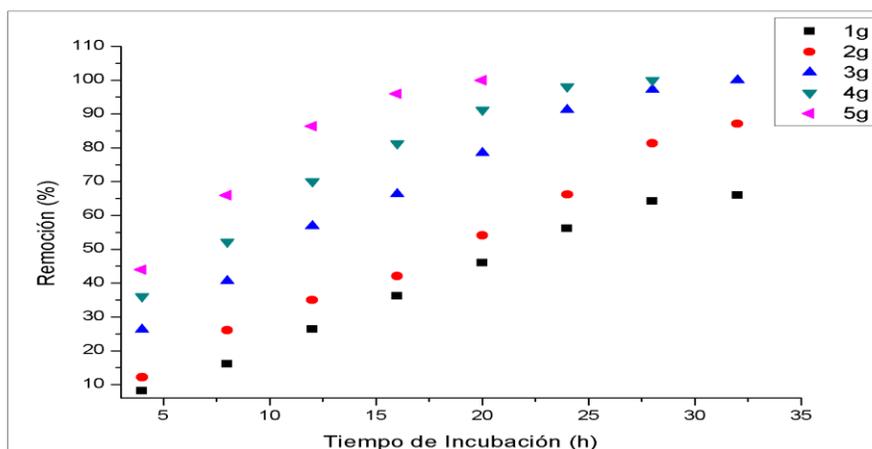


Fig. 8: Efecto de la concentración de biomasa de lirio acuático sobre la bioadsorción de Cd (II) en solución. 50 mg/L. 28°C pH 6.0, con agitación constante (100 rpm).

Por otro lado, se ha sugerido que el lirio acuático presenta algunas ventajas para tratar aguas residuales industriales y domésticas, de efluentes de aguas residuales y estanques de lodos, debido a que tiene una alta capacidad de absorción de diferentes contaminantes orgánicos e inorgánicos, puede tolerar un ambiente extremadamente contaminado y posee una gran capacidad para la producción de biomasa (Ali *et al.*, 2020). Por lo anterior, se realizó un ensayo de biorremediación de Cd (II) a partir de agua contaminada con 100 mg/L de Cd (II) (ajustado), obtenida de una laguna de efluentes industriales (Tanque Tenorio) ubicada al oriente de la ciudad capital de San Luis Potosí, S.L.P. México, observando que a los 7 días de incubación la remoción es eficiente (54.2%, Figura 9), lo cual coincide con algunos reportes de la literatura con diferentes biomazas como la levadura *C. tropicalis*, la cual removió 56% y 73% del metal a los 6 y 12 días de incubación, respectivamente (Rehman & Anjum, 2009), para la fitorremediación de Cd con *E. crassipes*, sobre un suelo contaminado durante 62 días a diferentes concentraciones del metal, con una remoción de 11.75% y 23.63% (Zúñiga López, 2020), la eliminación por *A. bisporus* de hidrocarburos aromáticos, pireno, Cd y Pb de suelos contaminados (García-Delgado *et al.*, 2017), la remediación de suelos co-contaminados con Cd y endosulfán utilizando *Pleurotus eryngii* y *Coprimun comatus* (Wang *et al.*, 2018) y la remoción de Cd (II) y Cu (II) de soluciones acuosas por *L. edodes* modificada con cloruro de magnesio (Xie *et al.*, 2015) y la remoción de hidrocarburos utilizando lirio acuático (Martínez Bolaños, 2014).

Finalmente, se realizó un experimento *in vivo*, con plantas del lirio acuático (lirio A y lirio B), incubándolas en presencia y ausencia de una solución de 50 mg/L de Cd (II) (ajustado) en un volumen final de 250 mL, proveniente de una laguna de efluentes industriales, tomando muestras de 5 mL cada semana durante un mes, determinando la concentración de Cd (II) en el sobrenadante, encontrando que a las 4 semanas de incubación, se remueve un

16.2% del metal en estudio (Figura 10), lo cual es menor a lo reportado en el experimento anterior, y además, la planta que se incubó en presencia del metal, creció menos y fue perdiendo el color verde lentamente (datos no mostrados). Al respecto, se ha reportado que el jacinto de agua puede sobrevivir en una mezcla de concentraciones de metales pesados de hasta 3 mg/L, mientras que altas concentraciones de algunos metales (100 mg Cd/L), provocaron una rápida decoloración de las plantas (Soltan & Rashed, 2003), también se reportó la absorción de 4 mg/L de Cd por las raíces de la misma planta durante ocho días (Lu *et al.*, 2004), la remoción de 0.02 mg/L de Cd (II) de drenajes ácidos mineros con *E. crassipes*, durante 14 días (Palihakkara *et al.*, 2018), una eficiencia de remoción de 83.57% a partir de agua simulada con 2 mg/L de Cd (II) utilizando *E. crassipes* durante 11 días (Sandoval Vilchez 2019), la remoción de As, Cd y Cu a partir de humedales artificiales durante 60 días a un pH de 6.5, con diferentes plantas (Islas Olvera, 2020), la remoción de un 71% de 0.325 mg/L de Hg de aguas residuales de la industria minera durante 7 meses (Domínguez *et al.*, 2016), y la fitorremediación de Ni y Pb a partir de suelo y aguas contaminadas, utilizando la misma planta (lirio acuático) (Hussain *et al.*, 2010; Núñez López *et al.*, 2009).

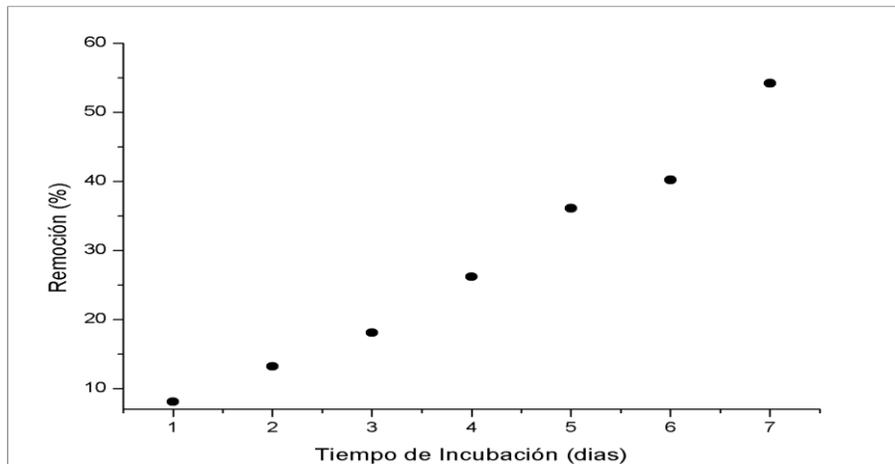


Fig. 9: Biorremediación de Cd (II) a partir de efluentes de una laguna de desechos industriales contaminada con 100 mg/L Cd (II) (ajustado) 5 g de biomasa, 95 mL de agua contaminada, 28°C, 100 rpm). pH 6.8.

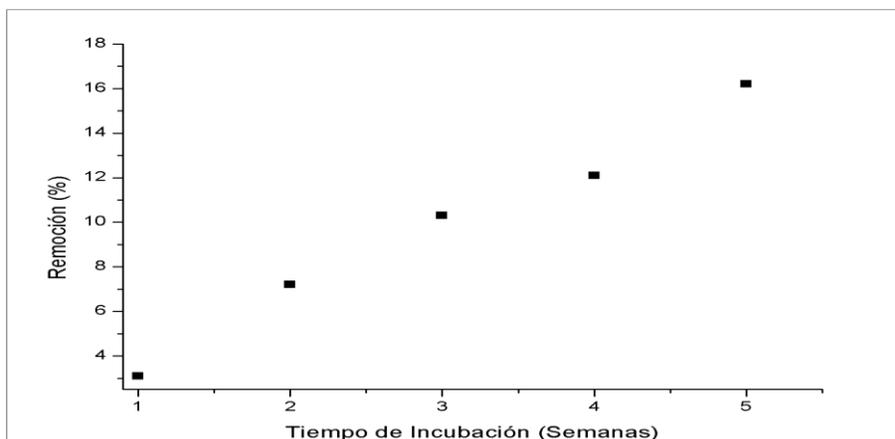


Fig. 10: Remoción *in vivo* de 50 mg/L de Cd (II) (ajustado) a partir de agua contaminada de desechos industriales 28°C. pH 6.0 (ajustado). Condiciones estáticas.

CONCLUSIONES

El lirio acuático o jacinto de agua, es una planta acuática que tiene un rápido crecimiento y reproducción, provocando grandes problemas en las aguas contaminadas con ésta, por lo que se estudian alternativas para que se pueda utilizar en beneficio del medio ambiente, entre las cuales esta su aplicación como bioadsorbente de diferentes contaminantes como los metales pesados, con resultados altamente satisfactorios. En este trabajo, se analizó la capacidad de remoción de Cadmio (II) en solución acuosa por la biomasa de esta planta, con resultados satisfactorios, los cuales se resumen a continuación:

- 1.- La biomasa de lirio acuático elimina un 66% del metal en solución, a un pH de 6.0, a las 32 horas de incubación, 1 g de biomasa y 28°C.
- 2.- La temperatura óptima de remoción de Cd (II) fue de 28°C, eliminando el 66% del metal a las 32 horas de incubación.
- 3.- A menor concentración de metal, es mayor la eficiencia de remoción.
- 4.- A mayor concentración de la biomasa, es mayor la remoción del metal.
- 5.- En los ensayos de biorremediación, se encontró una eficiencia de remoción de 54.2%, a los 7 días de incubación.
- 6.- La planta viva elimina un 16.2% del metal a las 4 semanas de incubación, a partir de agua contaminada con Cd (II), por lo tanto, su aplicación será viable para el tratamiento de ésta, además, la biomasa utilizada es natural, de fácil obtención, manejo y costo accesible.

REFERENCIAS

- Acosta, I., Moctezuma Zárate, M.G., Cárdenas, J.F. & Gutiérrez, C. (2007). Bioadsorción de Cadmio (II) en solución acuosa por biomasa fúngica. *Inf. Tecnol.*, 18(1), 9-14.
- Adeleke, G., Adeddosu, O.T., Ehigie, L., Addegbola, P.I., Olankiyi, A.A., Agoola, T.O. *et al.* (2020). Chemical constituents of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) methanol leaf extract and its effect on selected enzymes of *Periplaneta americana*. *J. Biotechnol. Comput. Biol. & Bionanotechnol.*, 101(4), 323–336.
- Al-Homaidan, A.A., Alabdullatif, J.A., Al-Hazzani, S.A.A., Al-Ghanayem, A.A., & Alabbad, A.F. (2015). Adsorptive removal of cadmium ions by *Spirulina platensis* biomass. *Saudi J. Biol. Sci.*, 22(6), 795-800.
- Ali S., Abbas, Z., Rizwan, M., Zaheer, I.E., Yava, I., Ünay, A. *et al.* (2020). Application of Floating Aquatic Plants in Phytoremediation of Heavy Metals Polluted Water: A Review. *Sustainability*, 12(1927), 1-33.
- Álvarez Bernal, D., Lastiri Hernández, M.A., Buelna Osben, H.R., Contreras Ramos, S.M. & Mora, M. (2016). Vermicompost as an alternative of management for water hyacinth. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 32(4), 425-433.
- Anayurt, R.A., Sari, A. & Tuzen, M. (2009). Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies on biosorption of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solution by macrofungus (*Lactarius Scrobiculatus*) biomass. *Chem. Eng. J.*, 151, 255-261
- Apaza-Aquino, H. & Valderrama Valencia, M.R.E. (2020). Eficiencia de la biomasa de *Rhizopus sp.*, en la remoción de cadmio (II). *Rev. de Inv. de la Esc. de Pos. Univ. Nac. del Altiplano*, 9(4), 1805-1816.
- Asnaoui, H., Laaziri, A. & Khalis, M. (2015). Study of the kinetics and the adsorption isotherm of cadmium (II) from aqueous solution using green algae (*Ulva lactuca*) biomass. *Water Scien. & Technol.*, 72(9), 1505–1515.
- Astudillo, S. Vera, L., Astudillo, J. & Castro, C. (2020). Evaluación del poder biosorbente de la hoja de maíz en la remoción de metales pesados. *AFINIDAD*, LXXVII, 591, 182-188.
- Bernal Nieves, J.V. (2015). *Evaluación de Eichhornia crassipes en el tratamiento de las aguas residuales provenientes del Campus de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Orinoquia*. Tesis Licenciatura. Químico Ambiental. Facultad

de Química Ambiental. División de Ingenierías y Arquitectura. Universidad Santo Tomás. Orinoquia. Colombia. <https://repository.usta.edu.co>

Bonilla-Barbosa, J.R. & Santamaría, B. (2014). *Plantas acuáticas exóticas y trasladadas invasoras. En: Especies acuáticas invasoras en México*. Mendoza, R. y Koleff, P. (coord.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 223-247.

Cartagena Beltrán, E.P. (2018). *Análisis de factibilidad para la obtención de un biofertilizante producido a través de la especie Eichhornia crassipes procedente de la laguna del Limoncocha*. Tesis Magister en Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador. <https://repositorio.uisek.edu.ec>

Cervantes, C., Campos-García, J., Devars, S., Gutiérrez-Corona, J.F., Lozano-Talavera, H., Torres-Guzmán, J.C. et al. (2001). Interactions of chromium with microorganisms and plants. *FEMS Microbiol. Rev.*, 25, 333-347.

Chen, M., Wang, L., Hou, H., Yang, S., Zheng, X., Chen, L. et al. (2018). Mycoextraction: Rapid Cadmium Removal by Macrofungi-Based Technology from Alkaline Soil. *Minerals*, 8(589), 1-17.

Cimá-Mukul, C.A., Abdellaoui, Y., Abatal, M., Vargas, J., Santiago, A.A. & Barrón-Zambrano, J.A. (2019). Eco-Efficient Biosorbent Based on *Leucaena leucocephala* Residues for the Simultaneous Removal of Pb(II) and Cd(II) Ions from Water System: Sorption and Mechanism. *Bioinor. Chem. Appl. Volume 2019*, Article ID 2814047, 13 pages.

CONABIO (2015). *Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México*. México D.F. 1-12. <https://www.biodiversidad.gob.mx>especies>

Domínguez, M.C., Gómez, S. & Ardila A.N. (2016). Fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera. *UG Ciencia*, 22, 227-237.

Eid, M.E., Shaltout, K.S., Moghanm, F.S., Youssef, M.S.G., El-Mohsnawy, E. & Haroun, S.A. (2019). Bioaccumulation and translocation of nine heavy metals by *Eichhornia crassipes* in Nile Delta, Egypt: perspectives for phytoremediation. *Int. J. Phytorem.*, 21 (8), 11-8.

Gallardo Pazmiño, A.S. (2015). *Bioensayos estáticos para determinar la acumulación de plata en lirio Acuático (Eichhornia crassipes)*. Tesis Magister en Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador. <http://repositorio.uisek.edu.ec>

García-Delgado, C., Alonso-Izquierdo, M., González-Izquierdo, M., Yunta, F. & Eymar, E. (2017). Purification of polluted water with spent mushroom (*Agaricus bisporus*) substrate: from agricultural waste to biosorbent of phenanthrene, Cd, and Pb. *Environ. Technol.*, 38(13-14), 1792-1799.

Gómez Gutiérrez, C. & Guarín Álvarez, S.L. (2020). *Evaluar el efecto del proceso de fitorremediación con Eichhornia crassipes en un agua cianurada mediante cromatografía de gases*. Tesis Licenciatura. Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Católica de Manizales. Manizales. Caldas, Colombia. <http://repositorio.ucm.edu.co>

Greenberg, A.E., Clesceri, L.S. & Eaton, A.D. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18a. ed. American Public Health Association. Washington DC. 3.107

Guzmán-Pérez, J.E., Salinas-Luna, O.J., Favela-Torres, E. & López-Ramírez, N. (2021). Liberación de azúcares reductores a partir de lirio acuático por hidrólisis termoquímica y enzimática. *Mex. J. Biotech.*, 6(1), 156-164.

Hernández, J.A., Torres-García, A., Conejo-Moreno, F.B., Oliva-González, A.S. & Ardila, A.N. (2015). Aprovechamiento de *Eichhornia crassipes* (lirio acuático) proveniente de la zona de Yuriria, Guanajuato, como fuente de Lignina, Celulosa y Hemicelulosa. *Innov. Des. Tecnol. Rev. Dig.*, 7(1), 1-7.

Hussain, S.T., Mahmood, T. & Malik, S.A. (2010). Phytoremediation technologies for Ni⁺⁺ by water Hyacinth. *Afr. J. Biotechnol.*, 9 (50), 8648-8660.

Islas Olvera, J. (2020). *Fitoextracción de arsénico, cadmio y cobre, mediante las especies Eichhornia crassipes, Miriophyllum aquaticum y Wolffia colombiana*. Tesis Maestría en Ciencias Ambientales. División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. México. <http://zaloamati.azc.uam.mx>

Lara González, L. (2017). *Fitorremediación para la extracción del colorante "azul de metileno" mediante el uso de Eichhornia crassipes*. Tesis Licenciatura. Licenciada en Ciencias Ambientales. Facultad de Planeación Urbana y Regional. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca de Lerdo, Estado de México. <http://ri.uaemex.mx>

Leenu, S. & Sheela, D. (2016). Impact of Co and Cu (heavy metals) on *Eichhornia crassipes* (Mart) solms, with special reference to bioaccumulation and phytoremediation. *Asian J. of Science and Technol.* 7, (05), 2996-2998.

Lu, X., Kruatrachue, M., Pokethitiyookb, P. & Homyok, K. (2004). Removal of Cadmium and Zinc by Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes*. *Science Asia*, 30, 93-103.

Martínez Bolaños, E.A. (2014). *Factibilidad de remoción de hidrocarburos utilizando lirio acuático (Eichhornia crassipes)*. Tesis Licenciatura. Biólogo. Escuela de Biología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. <https://repositorioinstitucional.buap.mx>

Matindi, Ch. N. (2016). *Analysis of heavy metals in content hyacinth (Eichhornia crassipes) from lake Victoria and assesment of its potential as a feedstock for biogas production*. Degree of Master of Science in Nuclear Science. Institute of Nuclear Science and Technology. University of Nairobi. <https://www.reseachgate>.

Mi, N., Idrees, I., Danish, P., Ahmad, S., Ali, Q. & Malik, A. (2020). Potential of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* L.) for phytoremediation of heavy metals from waste water. *Biol. Clin. Scien. Res. J.*, 2020, 1-6.

Miranda A., & Lot Helgueras, A. (1999). El lirio acuático, ¿una planta nativa de México? *Rev. Ciencias*, 53, 50-54.

Mishra, S. & Maiti, A. (2017). The efficiency of *Eichhornia crassipes* in the removal of organic and inorganic pollutants from wastewater: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 24, 7921–7937.

Morales Rojas, E., Reyes Farje, J., Quiñones Huatangari, L. & Milla Pino, M. (2019). Efecto del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en la depuración del agua residual del colector Santa Lucía-Chachapoyas. *Rev. Cienc. Tecnol.*, 15 (4), 19-25.

Mtewa, A.G. & Sesaazi, D. (2020). Effect of Combination of Pure Isolates of *Eichhornia Crassipes* Roots on Bioactivity Against Some Cancer Cell Lines. *Eur. Mod. Stud. J.*, 4 (5), 155-162.

Núñez López, R.A., Vong, Y.M., Ortega Borges, R. & Olgúin, E.J. (2009). Rizofiltración, lixiviación y electrorecuperación: Una propuesta integral para el tratamiento de aguas contaminadas con plomo a partir del lirio acuático (*Eichhornia Crassipes*). *Cienciauaq*, 2 (1), 17-31.

Olabemiwo, F.A., Tawabini, B.S., Patel, F., Oyehan, T.A., Khaled, M. & Laoui, T. (2017). Cadmium Removal from Contaminated Water Using Polyelectrolyte-Coated Industrial Waste Fly Ash. *Bioinor. Chem. App.*, 2017, Article ID 7298351, 13 pages.

Palihakkara, Ch.R., Dassanayake, S., Jayawardena, Ch. & Senanayake, I.P. (2018). Floating Wetland Treatment of Acid Mine Drainage using *Eichhornia crassipes* (Water Hyacinth). *J. Health & Poll.*, 8 (17), 14-19.

Rehman, A. & Anjum, M.S. (2010). Cadmium Uptake by Yeast, *Candida tropicalis*, Isolated from Industrial Effluents and Its Potential Use in Wastewater Clean-Up Operations. *Water Air Soil Pollut.*, 205, 149–159.

Ren, Y.Y., Zhu, Z.Y., Dong, F.Y. & Qiao-ying Song, G.Y. (2018). Screening, characteristics and mechanism of Cd-tolerance *Cunninghamella bertholletiae*. *J. Clean. Prod.*, 191, 480-489.

Rojas Adrianzen, L.P. & Suyon Diaz, E.P. (2020). *Eficiencia de fitorremediación con jacinto de agua (Eichhornia crassipes) para disminuir concentraciones de arsénico en aguas del centro poblado Cruz del Medano-Morrope-2019*. Tesis Licenciatura. Ingeniería Ambiental. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Universidad de Lambayeque. Chiclayo, Perú. <https://repositorio.udl.edu.pe>

Romano, M.S., Corne, V., Azario, R.R. & García, M.C. (2020). Aprovechamiento de residuos lignocelulolíticos regionales para la remoción de cadmio en solución. *Av. Cienc. Ing.*, 11 (3), 11-22.

Sandoval Vilchez, J.D. (2019). *Eficiencia del jacinto de agua Eichhornia crassipes y lenteja de agua Lemna minor L. en la remoción de cadmio en aguas residuales*. Tesis Licenciatura. Ingeniero Ambiental. Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú. <http://repositorio.unfv.edu.pe>

Sanmuga Priya, E. & Senthamil Selvan, P. (2014). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)-An efficient and economic adsorbent for textile effluent treatment-A review. *Arab. J. Chem.*, 10, S3548-S2558.

Sayago, U., Castro, Y.P., Rivera, L. & Mariaca, A.G. (2020). Estimation of equilibrium times and maxim capacity of adsorption of heavy metals by *E. crassipes*. (review). *Environ. Monitor. Assessm.*, 192 (2), 1-16.

Shin, E. W., Karthikeyan, K.G. & Mandla, A.T. (2007). Adsorption mechanism of cadmium on juniper bark and Wood. *Biores. Technol.*, 98 (3), 588-594.

Soltan, M.E. & Rashed, M.N. (2003). Laboratory study on the survival of water hyacinth under several conditions of heavy metal concentrations. *Adv. in Environ. Res.*, 7, 321-334.

Tovar-Jimenez, X., Favela-Torres, E., Volke-Sepulveda, T. L., Escalante- Espinosa, E., Diaz-Ramirez, I. J., Cordova-Lopez, J. A. et al. (2019). Influence of the geographical area and morphological part of the water hyacinth on its chemical composition. *Ing. Agríc. Biosist.*, 11 (1), 39-52.

Vargas Perdomo, C.M., Oviedo Salazar, A., Montañez Velázquez, M.N. & Polania Patiño, A. (2018). Estado del uso de la *Eichhornia crassipes* en la fitorremediación de aguas residuales industriales. *Ingenio Magno*, 9 (2), 106-130.

Vízcaíno Mendoza, L. & Fuentes Molina, N. (2015). Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. *Cien. Ing. Neogranadina*, 25 (1), 43-60.

Vizcaíno Mendoza, L., Fuentes Molina, N. & González Fragosó, H. (2017). Adsorción de plomo (II) en solución acuosa con tallos y hojas de *Eichhornia crassipes*. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 20 (2), 435-444.

Wang, Y., Zhang, B., Chen, N., Wang, C., Feng, S. & Heng Xu. (2018). Combined bioremediation of soil co-contaminated with cadmium and endosulfan by *Pleurotus eryngii* and *Coprinus comatus*. *Soils Sediments*, 18, 2136-2147.

Xie, H., Zhao, Q., Zhou, Z., Wu, Y., Wang, H. & Xu, H. (2015). Efficient removal of Cd(II) and Cu(II) from aqueous solution by magnesium chloride-modified *Lentinula edodes*. *Royal Soc. Chem. Adv.*, 5, 33478-33488.

Zúñiga López, P.A. (2020). *Fitorremediación de suelo agrícola contaminado con cadmio con la especie Eichhornia crassipes (Mart.) Solms. en la cuenca baja del Río Guayas*. Tesis Licenciatura. Ingeniero Ambiental. Carrera de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil. Guayaquil. Ecuador. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/48750>

