

Modelo de biorremediación de plomo con lirio acuático

Antonio Miguel-Barrera¹, Dolores Castañeda-Antonio*², Juana Deysi Santamaría-Juárez³, José Antonio Munive-Hernández², Antonio Rivera-Tapia², María Elena Ramos-Cassellis³.

¹Facultad de Ciencias Biológicas, Ciudad Universitaria, San Manuel, Puebla, México. ²Laboratorio de Ecología Molecular Microbiana CICM-ICUAP Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ed. 11C Ciudad Universitaria, Jardines de Sn Manuel, Puebla, México. ³Facultad de Ingeniería Química, BUAP. 18 sur y Av. Sn Claudio, Ciudad Universitaria, San Manuel, Puebla, México.

*Email autor corresponsal: dcastaneda.antonio@gmail.com

Recibido: 6 diciembre 2019. **Aceptado:** 1 enero 2020.

RESUMEN

Antecedentes: El jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) es una de las plantas con mejor reproducción y adaptabilidad a ambientes contaminados, los estudios han demostrado que el lirio de agua es un colector de metales pesados en el agua; aprovechando su rápido crecimiento y facilidad de recolección. **Objetivo:** Evaluar la eliminación de plomo (Pb) utilizando el lirio de agua como bioacumulador en un proceso de biorremediación. **Metodología:** Se realizaron análisis para la caracterización del lirio de agua y el agua. Se recolectó lirio de agua, el requisito fue a veces un período de pre-adaptación, posteriormente, se colocó en diferentes pruebas con el agua recolectada de una laguna de oxidación y el plomo como contaminante. La duración de los ensayos fue de 15 días, en los cuales el lirio de agua estuvo en contacto directo con el agua contaminada, durante todo este período se monitoreó el comportamiento del lirio. **Resultados:** el agua de la llave no presentó plomo, el agua de la laguna tuvo una concentración de 0.025 mg/L, agua control con plomo tuvo una concentración de 3.14 mg/L de plomo, teniendo una remoción final del 13.05 % en el agua en las muestras de bioacumulación. El lirio ya contenía un valor significativo de plomo al iniciar el ensayo de 0.127 mg/kg, con la adición de plomo en el inicio del experimento nos da un valor de 0.169 mg/kg, obteniendo un valor final del experimento de 0.284 mg/Kg, lo que indica un incremento en el contenido de plomo del 91.84% en 15 días; por lo que se confirma el poder de bioabsorción de metales para esta planta con la capacidad para absorber es de más de 90 veces su peso en agua.

Palabras clave: Bioacumulación, biorremediador, espectrofotómetro de absorción atómica, lirio acuático, remoción.

ABSTRACT

Background: Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) is one of the plants with better reproduction and adaptability to polluted environments, studies have shown that water lily is a collector of heavy metals in the water; taking advantage of its fast growth and ease of collection. Objective: To evaluate the elimination of lead (Pb) using the water lily as a bioaccumulator in a bioremediation process. Methodology: Analyzes were performed for the characterization of water lily and water. Water lily was collected, the requirement was sometimes a period of pre-adaptation, subsequently, it was placed in different tests with the water collected from an oxidation lagoon and lead as a contaminant. The duration of the trials was 15 days, in which the water lily was in direct contact with the contaminated water, during this period the behavior of the lily was monitored. Results: the tap water does not have lead, the lagoon water had a concentration of 0.025 mg/L lead, and control water had a concentration of 3.14 mg/L lead, having a final removal of 13.05% in the water in bioaccumulation samples. The lily already contained a significant value of lead at the start of the 0.127 mg/kg test, with the addition of lead at the beginning of the experiment it gives us a value of 0.169 mg/kg, obtaining a value end of the experiment of 0.284 mg/kg which indicates a 91.84% increase in lead content in 15 day; which confirms the bioabsorption power of metals for this plant with the capacity to absorb more than 90 times its weight in water.

Keywords: Bioaccumulation, bioremediator, atomic absorption spectrophotometer, water lily, removal.

INTRODUCCIÓN

Uno de los recursos naturales más explotados y contaminados actualmente es el agua, la mayoría de los ríos, lagos y mares están repletos de basura proveniente de desechos sanitarios entre otras actividades, aunado a eso podemos agregar que las grandes empresas vierten sus desechos industriales en los recursos hídricos [1]. Muchos de estos desechos se tratan de metales pesados como el plomo (Pb). Estos metales se acumulan en el agua, la cual es utilizada por las poblaciones para diversas actividades diarias, provocando daño como

intoxicación, enfermedades. También es importante señalar que los diversos organismos que viven en el agua están más propensos y es común que terminen pereciendo o fungiendo como bioacumuladores [2]. El lirio acuático es una planta originaria de Sudamérica. Posee un ciclo de vida perenne y tiene una amplia tolerancia a los factores abióticos del medio, sin embargo, el lirio acuático no soporta las bajas temperaturas, su crecimiento óptimo se da a pH de 7 y sólo prospera en aguas con altos contenidos de nutrientes [12], como los ríos contaminados, por lo que al controlar los contaminantes también se podría

controlar al lirio. El lirio se distribuye rápidamente sobre superficies en presas, lagunas y canales, además afecta la supervivencia de los animales nativos [8] y la acuicultura, ya que el agua abajo del lirio acuático disminuye su oxígeno; por lo que se considera una plaga en algunos lugares.

Por otra parte, se han desarrollado una serie de métodos para revertir el impacto causado por los contaminantes como los métodos enzimáticos, físico-químicos, biológicos y sus combinaciones, sin embargo, estos métodos suelen ser costosos y pueden afectar en cierto grado las propiedades del agua, sobre todo, de los seres vivos que se encuentran en ella o cerca de ella, debido a los diversos productos químicos utilizados para remediarlo. La fitorremediación representa una alternativa sustentable y económica para la recuperación de ambientes afectados por contaminantes. La fitorremediación aprovecha las propiedades naturales de las plantas, así como sus procesos bioquímicos para reducir *in situ* o *ex situ* la concentración de diversos compuestos contaminantes en un hábitat, ya sea por la bioacumulación, bioventilación o biotransformación [3].

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es una de las plantas con mejor reproducción y tasa de crecimiento, por lo cual se extiende rápidamente. Diversos estudios han demostrado que el lirio acuático es un captador de metales en agua, debido su alta capacidad de absorción y bioacumulación de

estos en sus raíces y hojas, en ocasiones con metales específicos como el arsénico pueden existir una traslocación a sus hojas y realizar una evotranspiración, esta bioacumulación permite la manipulación posterior y el confinamiento de los metales absorbidos, siendo esto otra ventaja de este ejemplar como método de biorremediación [4].

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la remoción de plomo utilizando el lirio acuático como biorremediador.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Figura 1 muestra los pasos que se realizaron para evaluar la capacidad de remoción de plomo en agua en modelo a nivel laboratorio.

Muestreo de agua

El punto de muestreo se realizó en la laguna de oxidación, dentro de Ciudad Universitaria de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en el “Paseo del lago Universitario”, bajo las especificaciones de la NMX-AA-003-1980. El muestreo de las aguas residuales se realizó en un punto que se caracteriza por contener trazas de contaminantes, lo que permitió evaluar el comportamiento real del sistema [5].

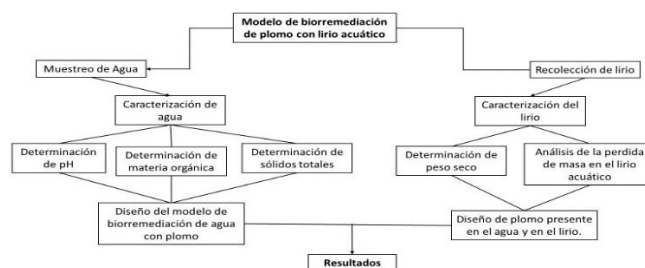


Figura 1. Esquema de trabajo del ensayo de bioacumulación de Pb.

Recolección de lirio acuático

Para recolectar el lirio acuático se acudió a la presa Manuel Ávila Camacho mejor conocida como “Presa de Valsequillo”, se eligieron alrededor de 20 plantas de dos tamaños diferentes: de 20 a 25 cm y de 10 a 15 cm, también se aseguró de que las plantas no presentaran algún daño o un estado de marchitez, incluso se buscaron muestras que tuvieran desarrollo plantar, esto con la intención de que el proceso de pre-adaptación se diera de forma más rápida [4].

El muestreo de lirio se llevó a cabo en el mes de febrero, donde éste es tan solo un gran botón, que aún no ha floreado. El periodo de floración del lirio ocurre en función del sitio donde se desarrolla, en el periodo de agosto a octubre en el centro de México [9], de abril a julio en el sur de Estados Unidos [10] y durante todo el año en el Bajío [11].

Caracterización de agua

En la evaluación de la caracterización del agua se evaluaron diversos parámetros que permitieron establecer las propiedades fisicoquímicas del sistema evaluado. Se establecieron las siguientes determinaciones:

Determinación de pH

El pH se determinó con un potenciómetro (marca Hanna), tomando una muestra de agua de cada recipiente del ensayo, sumergiendo directamente el electrodo del equipo, una vez se realizó la calibración de equipo a 3 puntos en los niveles de 4, 7 y 10 unidades de pH, con soluciones buffer comerciales [4].

Determinación de materia orgánica por oxidación con dicromato de potasio

Se llevó a cabo una reacción de oxidación química del carbono, tomando alícuotas de 1mL de la muestra de agua inicial del experimento y otra alícuota de 1mL posterior al experimento, a la que se adicionaron 5 mL de dicromato de potasio 1M y 10 mL ácido sulfúrico concentrado. La reacción de oxidación se llevó a cabo durante 30 minutos, esta reacción se detuvo al transcurrir ese tiempo por la adición de 100 mL de agua destilada, posteriormente se adicionaron 2,5 mL ácido fosfórico concentrado para evitar interferencias de fierro trivalente, usando como indicador difenilamina. El dicromato de potasio residual fue valorado con sulfato ferroso a la concentración de 1 M. Para el blanco, se usó agua destilada, la muestra problema fue de la laguna de oxidación, al inicio y final del tratamiento respectivamente [6].

La detección del porcentaje de materia orgánica total en el agua se calculó a través de la ecuación 1 (Ec1).

$$\text{Ec. 1: \% de Carbono} = ((B-T)/mL)(N)(0.39)$$

Donde:

B= volumen de sulfato gastado para valorar el blanco de reactivos (mL).

T= volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (mL).

N= Normalidad del sulfato ferroso.

Determinación de sólidos totales

Para la obtención de los sólidos totales, se agregó un mililitro de muestra en una caja Petri, se pesó y se

llevó a la estufa de secado para la evaporación del agua. Se monitorearon los pesos durante el tiempo necesario hasta alcanzar peso constante [7].

Caracterización de lirio

Determinación de peso seco

Para determinar el peso seco, la plata fue colocada en una caja Petri; a la cual primero se trató de retirar toda el agua posible de la raíz, se tomó su peso, siendo este el peso en húmedo inicial y posteriormente se colocó en una estufa de secado a 40 °C para su deshidratación volviendo a pesar después de la deshidratación total [4].

Análisis de la pérdida de masa

Se tomó el peso total de las plantas, contenido en cada recipiente al inicio del ensayo y al final, con la intención de observar si además de bioacumular el Pb, existe algún efecto en la planta ya sea ganancia o pérdida de peso, de acuerdo al tratamiento evaluado.

Diseño del modelo de biorremediación de agua con plomo

Período de Pre-adaptación

Una vez recolectada la muestra de plantas se llevó al laboratorio e inició el proceso de pre-adaptación, las plantas se enjuagaron directamente en agua de la llave para eliminar los componentes de su hábitat original, posteriormente se colocaron en recipientes con un litro y medio de agua del grifo, en el cual se colocó un sistema de suministro de aire con un sistema de bombeo para pecera (OceanAqua), se dejó alrededor de 4 días. Se eligieron las plantas que presentaron mayor adaptación (verdes y firmes).

Montaje del Ensayo y Diseño del Sistema

Se utilizaron recipientes de polietileno con una capacidad para 5 litros, se utilizó manguera de polietileno para pecera, además para el sistema de oxigenación se utilizaron dos bombas de aire para oxigenar el sistema. Para la conexión de las mangueras se diseñaron conos o adaptadores realizados a partir de plastilina de PVC (plastiloca), como se observa en la Figura 1. El ensayo se dividió en tres tratamientos:

Muestras Control: 1.5 L de agua de la llave más la planta del lirio acuático.

Muestras de Control Positivo: 1.5 L de agua de la laguna de oxidación a una concentración de 2 ppm de Pb.

Muestras de Ensayo de bioacumulación: 1.5 L de agua de la laguna de oxidación + planta de lirio + una concentración de 2 ppm de Pb.

El ensayo control y el ensayo de bioacumulación se realizaron por triplicado. El Pb se adicionó en solución, partiendo de un estándar de 1000 ppm (Merck). La concentración se calculó a partir de la ecuación $(C1)(V1) = (C2)(V2)$ para determinar el volumen que se tomó del estándar de plomo de 1000 ppm, el cual fue de 3 mL por cada recipiente de agua con 1.5 L, quedando a una concentración final de 2 ppm por cada recipiente de agua.

Una vez que se adicionó el Pb, se homogenizó y posteriormente se añadieron las plantas de acuerdo al diseño planteado.

Determinación de plomo presente en el agua y en el lirio

De acuerdo a la siguiente metodología se analizaron las muestras para determinar la presencia de Pb al inicio y al final del experimento [8].



Figura 2. Diseño del sistema. Los recipientes de la derecha corresponden a las muestras control (agua de la llave con la planta), al fondo a la izquierda, se encuentra el control positivo (agua de la laguna a una concentración de 2 ppm de Pb), a la izquierda los recipientes corresponden al ensayo de biorremediación (agua de la laguna a una concentración de 2 ppm más el lirio acuático) con sistema de bombeo independiente para cada tratamiento.

Muestras de agua

Para las muestras líquidas, se tomaron 150 mL y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, las muestras fueron: control (agua de la llave), agua de la laguna y agua de la laguna adicionada con Pb, posteriormente se les adicionaron 5 mL de HNO₃ concentrado grado reactivo analítico, se sellaron con una membrana compuesta por parafilm, papel filtro y aluminio, se digirieron por 15 min en autoclave. Posteriormente, se filtraron y se aforaron a 50 mL, se etiquetaron y almacenaron en refrigeración a 4 °C para su posterior análisis.

Muestras sólidas (plantas)

Se agregó 1 g de la planta (muestra compuesta) y se le adicionaron 10 mL de agua destilada, se agito por 15 min., repitiendo esta operación por duplicado para eliminar contaminantes que estuviera adsorbidos en la superficie de la planta. Se adicionaron 5 mL de HNO₃ y 5 mL de ácido clorhídrico concentrado, se llevó a digestión en autoclave. Posteriormente se filtró y se llevó a un aforo final de 50 mL.

Para el análisis de las muestras, se utilizó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (EAA) Marca Perkin Elmer AAnalyst 400 por la técnica de la flama de la Facultad de Ingeniería Química de la BUAP. Se realizó una curva de calibración y posteriormente se analizaron las muestras del ensayo. Las lecturas de las muestras se hicieron por triplicado obteniendo la desviación estándar de cada valor [9].

Los datos obtenidos se trataron por un análisis de varianza (ANOVA) de una vía a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

RESULTADOS

Ubicación del punto de recolección

Para recolectar el lirio acuático se buscó una zona donde la planta se encontrará en mayor cantidad y fuera fácil su recolección. El lugar elegido corresponde a la siguiente ubicación geográfica: Carretera 525 de San Baltazar Tetela. (Coordenadas UTM 18°55'24.3"N 98°10'25.0).

El sitio de muestreo de agua, la laguna de oxidación dentro de Ciudad Universitaria de la Benemérita

Universidad Autónoma de Puebla, en el “Paseo del lago Universitario”, coordenadas UTM 19°00’03”N 98°12’02”O., lateral al Boulevard Capitán Carlos Camacho Espíritu 6307, Cd Universitaria, Villa Universitaria, CP 72589, Puebla, Puebla, como se muestra en la Figura 2.

Medición del pH de las muestras de agua

Debido a que nuestro sistema depende de la disponibilidad del metal para ser absorbido por la planta se determinó el pH como se muestra en la Tabla 1.

La adición de la solución de plomo acidificó levemente, el agua de un pH neutro y alcalino débil paso a ser un agua acida débilmente, esto favoreció la disponibilidad del metal y garantizó que se tiene en solución, caso contrario se tendría riesgo de tener precipitados del metal.

Porcentaje de materia orgánica en agua

Determinación de materia orgánica por oxidación con dicromato de potasio

De acuerdo a la formula mostrada en la metodología se determinó el porcentaje de carbono presente en cada muestra de agua. Los resultados se observan en la Tabla 2.

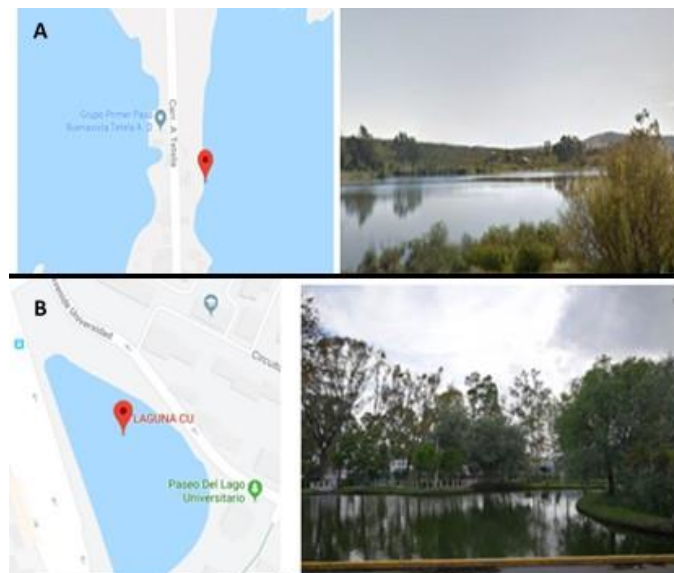


Figura 2. A) Lugar de recolección de la planta (lirio acuático), alrededores de la presa de Valsequillo. B). toma de muestra de agua en la laguna de oxidación en la laguna CU BUAP.

Tabla 1. pH en muestras de Agua. Se tomó el pH inicial del agua de la laguna como el agua control, para determinar cambios al final del ensayo, tanto por el plomo añadido o algún efecto de la planta sobre el agua.

Muestra	pH inicial	pH final	Tipo de muestra(final)*
Agua de la llave Control	7.2 ± 0.057	7.2 ± 0.057	Alcalina débil
Agua de la laguna	7.2 ± 0.057	7.0 ± 0.060	Neutra
Agua de la laguna + Pb + planta	7.2 ± 0.047	6.8 ± 0.032	Ácida débil
Agua de la laguna + Pb	7.2 ± 0.057	6.9 ± 0.057	Ácida débil

[51] * NOM-001-SEMARNAT-1996

Tabla 2. Resultados de la reacción de oxidación de carbono.

Muestra	Volumen del titulante (mL)	% de Carbono
Agua de la llave	11.7	1.5 ± 0.074
Agua de la Laguna	7.3	1.6 ± 0.100
Agua de la Laguna + Pb	7.6	1.6 ± 0.211

Como esperábamos el agua de llave presenta menor cantidad de materia orgánica, las muestras de agua de la laguna presentan un porcentaje ligeramente mayor, se usó agua superficial de la laguna esperando no brindar compuestos que pudieran ser absorbidos y disminuyeran la absorción de plomo, así como poder ver un efecto más franco por la presencia de plomo y baja en nutrientes, este parámetro está en relación

Sólidos totales en agua

El agua de la laguna presenta una baja cantidad de sólidos, esto es acorde a porcentaje de carbono presente e indica también una baja de nutrientes y sales minerales, razón por la cual aseguramos la disponibilidad del plomo para la planta. En la Tabla 3 se muestran los valores medios de los pesos de tres muestras, así como el porcentaje de sólidos encontrados.

Peso seco del lirio

La concentración de humedad que poseía la planta fue de alrededor del 95% (Tabla 4), misma que corresponde al porcentaje reportado como una característica de la planta donde la mayor composición del lirio acuático es agua [13].

Tabla 4. Porcentaje de humedad y peso seco de la planta lirio acuático.

	<i>Peso inicial</i>	<i>Peso final</i>	<i>% de agua</i>
Planta de lirio Acuático	15.93 g	0.850 g	94.67 ± 12.6

Análisis de la pérdida de masa de lirio a lo largo del ensayo

con el contenido de sólidos totales presente en tabla 3.

Tabla 3. Peso del agua para porcentaje de sólidos totales, determinados mediante la digestión de materia orgánica presente en el agua, con la ayuda de los valores obtenidos en la tabla 2.

	<i>Peso inicial</i>	<i>Peso final</i>	<i>% sólidos</i>
Agua de la Laguna	0.97 g	0.099 g	10 ± 0.01

Se pesaron 3 plantas de cada recipiente y se colocaron como un peso total de cada ensayo, para tener dos tipos de plantas, las plantas control y plantas bioacumuladoras de plomo. Éstas se pesaron al inicio y al final del experimento, con el objetivo de evidenciar algún cambio de peso de la planta por la presencia de plomo (Figura 3).

En la figura 4, se pueden observar el peso promedio de un pool de tres plantas usadas por tratamiento, estas no se pesaron en forma individual ya que la variación de cada planta en tamaño, así como la irregularidad de su forma da una variación mayor de pesos. El determinar agrupando las plantas, permite disminuir la variación entre las plantas usadas, mejorando la detección de la afectación solo por la presencia de plomo. Como se puede apreciar la disminución en las plantas sometidas a bioacumulación fue de 28.85 g, en el caso de las plantas control la disminución tan solo fue de 6.2 g. Lo que nos indicó que la presencia de plomo afectó el desarrollo del Lirio acuático, primero porque no incremento el peso durante el monitoreo del

experimento y también porque en el ensayo donde existe la presencia de plomo fue mayor la pérdida de peso, esto debido a que tuvo menos desarrollo o bien iniciaba un proceso de marchitez por toxicidad del metal.

Evaluación del sistema

Desarrollo de la planta a lo largo del ensayo

En ambos casos, las plantas control y las plantas del ensayo de bioacumulación con Pb, parecieron responder favorablemente a la presencia del metal, sin embargo, en el día 7 las plantas control empezaron a decaer, tenían un aspecto marchito. En el caso de las plantas para bioacumulación se observó adaptación en los primeros 5 días mejorando su aspecto, sin embargo, en el día 10 ambas plantas estaban marchitas, lo que indica una afectación al sistema, las razones que se consideran para este cambio fue la falta de nutrientes en el agua, así como a las condiciones ambientales presentes. Además, ya iniciaba a desarrollarse un hongo sobre las plantas. La Figura 5 muestra el desarrollo que tuvo la planta a lo largo del ensayo, para el día 15 ambas plantas estaban completamente marchitas.

En la Figura 3 se puede observar la apariencia de las plantas de lirio acuático, durante el periodo experimental.

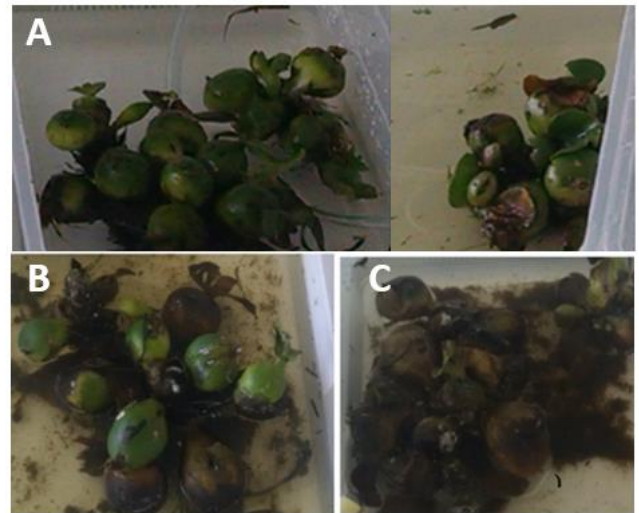


Figura 3. Desarrollo de la planta a lo largo del ensayo. A). comportamiento del lirio acuático en los primeros 5 días del ensayo, se observaba adaptación. B). Inicio de la marchitez de las plantas control ocurrido en el día 7. C). Marchitez total, día 15 fin del ensayo.

Determinación de plomo presente en las plantas y en agua por espectrofotometría de absorción atómica (eaa)

Se manejó una curva de calibración en un rango de 0.02-1.0mg/L de plomo (II) a 283.3nm con una lámpara EDL. Con lo cual se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 5.

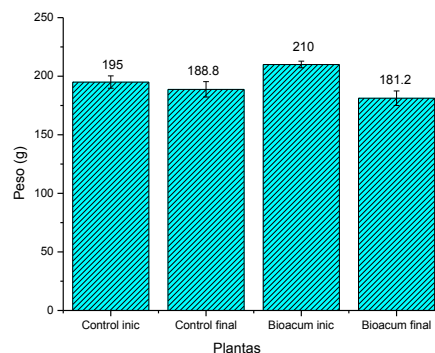


Figura 4. Determinación del peso de las plantas al inicio y final del experimento.

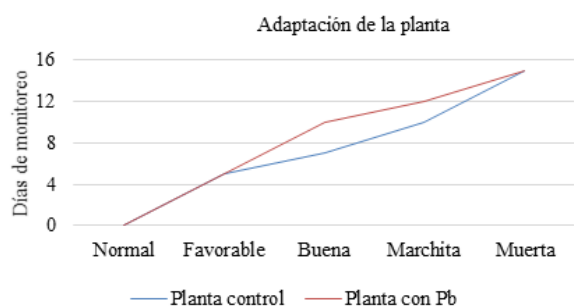


Figura 5. Adaptación de la planta a lo largo del ensayo

Tabla 5. Valores obtenidos del análisis de las muestras de agua.

<i>Muestra</i>	<i>Cantidad de Pb (mg/L)</i>
Agua de la llave (control)	No detectable
Agua de la laguna	0.025 ± 0.0007
Agua de la laguna + planta + Pb inicial	2.07 ± 0.0051
Agua de la laguna + planta + Pb final	1.635 ± 0.0075
Agua de la laguna + Pb	3.333 ± 0.0011

Como se observa en la tabla 5, el agua de la llave no presenta plomo, el agua de la laguna tuvo una concentración de 0.025 mg/L lo que da un valor de partida, que se considera con el valor promedio del agua para bioacumulación (Agua de la laguna + planta + Pb inicial) y agua control con plomo (Agua de la laguna + Pb) cuyo valor es de 3.14 mg/L de plomo, teniendo una remoción final del 13.05 % en el agua en el tratamiento de bioacumulación.

En la tabla 6 se muestran los valores obtenidos de las plantas en seco, podemos observar que el lirio ya contenía un valor significativo de plomo al iniciar el ensayo de 0.127 mg/kg, al iniciar el experimento nos

da un valor de 0.169 mg/kg, obteniendo un valor de al final de experimento de 0.284 mg/kg lo que indica un incremento en contenido de 91.84% en 15 días por lo que se confirma el poder de bioabsorción de metales del Lirio acuático y así también que el sistema propuesto, es un material capaz de acumulación de plomo y de esta manera restaurar cuerpos receptores que están contaminados con plomo.

Tabla 6. Valores obtenidos del análisis de las muestras de las plantas.

<i>Muestras</i>	<i>Concentración de Pb (mg/kg)</i>
Planta control	0.127 ± 0.015
Planta al inicio del experimento	0.169 ± 0.325
Planta al final del experimento	0.284 ± 0.246

DISCUSIÓN

Se ha utilizado el lirio acuático en diferentes estudios para evaluar su potencial biorremediador [14], esos estudios han indicado que la eficacia del Jacinto de agua o lirio para el tratamiento de aguas residuales es alto, ensayados con agua que contenían cromo (1ppm) y cobre (5 ppm) para su tratamiento y comparado semillas, hojas y raíces del lirio acuático, para determinar el rendimiento de biosorción. Los resultados indicaron que las raíces en polvo del lirio acuático pueden ser utilizadas como un biosorbente para limpiar agua contaminada al determinar su capacidad de biosorción siendo los valores reportados de 49.074 mg/g y 25.468 mg/g para Pb y Cd respectivamente [15], estos valores comparados

con los obtenidos en el presente trabajo (0.284mg/kg) muestran que el usar el lirio acuático como un organismo vivo presenta mayor eficiencia por su función más que por su estructura. Otro estudio diseñado para la fitorremediación de metales en los canales de Xochimilco centró su trabajo en la comparación de acumulación de metales pesados en la estructura sumergida (raíz) y parte aérea de la planta, siendo la estructura sumergida el mayor acumulador de concentraciones de metales a comparación de la parte aérea. El trabajar con sistemas no modelados permite una mayor sobrevivencia de la planta como lo reporta el trabajo en Xochimilco [4]. Se ha comparado el potencial biorremediador del lirio acuático con otras especies de plantas, sin embargo, se ha usado agua residual tipo industrial, el lirio acuático fue la mejor especie utilizada para biorremediación [16], revelando que el lirio acuático puede eliminar 99,80% de Cu, 97,88% de Pb, 99,53% de Hg en lapsos de tiempo de meses o hasta un año [17]. En nuestro trabajo la remoción fue del 91.84% de plomo durante 15 días en agua baja en nutrientes, confirmando la funcionalidad del lirio como un material bioacumulable de sistemas acuáticos contaminados con metales.

El ensayo propuesto tuvo una duración de 15 días tiempo en el cual todas las plantas murieron, sugiriendo que la muerte está vinculada directamente a la pérdida de masa. Las plantas empiezan a marchitarse mostrando un fenómeno de encogimiento [18], y con aparición de otros

organismos acuáticos que habían permanecido en el lirio como las lentejas de agua “*lemna*”, alcanzando de 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho., lo cual nos muestra que el sistema puede derivar a la supervivencia de otros organismos que enriquezcan el ecosistema y ayuden a la restauración de las condiciones óptimas del agua [19]. En la Figura 6 podemos observar como las lentejas de agua están alrededor de toda la planta y en algunos casos en la parte inferior del recipiente.

Otro organismo presente al inicio del ensayo fueron las lombrices (*Eisenia foetida*). Al momento de adicionar el Pb, observamos que las lombrices dejaron de moverse por lo que queda confirmado que estas son un bioindicador de contaminación y que a esa concentración no fueron tolerantes. Las lombrices estaban en las raíces y los bulbos de la planta, la alimentación de la lombriz se basa en la materia orgánica disponible y como única fuente de carbono estas se alojaron en la planta como mecanismo de protección.

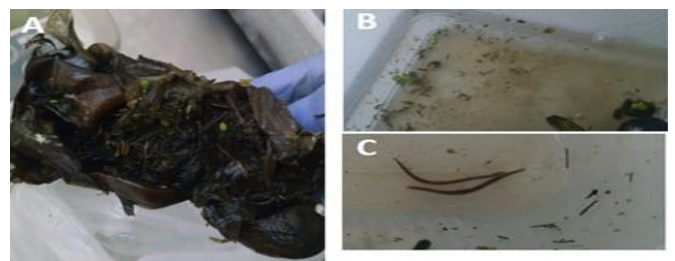


Figura 6. A) planta marchita y estado de descomposición, se observa que fue invadida por lentejas de agua. B) Lentejas de agua en la superficie de los recipientes de agua. C) Lombrices que reaparecieron al desmontar el experimento y triturar las plantas.

CONCLUSIÓN

Se demostró la capacidad de bioacumulación del lirio acuático aislado de la presa de Valsequillo, que en un periodo de 15 días logró bioacumular 91.84% del valor inicial, lo que sugiere que el sistema planteado podría ser más eficiente si la adaptación se hace con agua de lago no contaminada, siendo esta una mejor para trabajos en perspectiva para lograr una mayor sobrevivencia del lirio.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se generó como producto de un proyecto de investigación de la materia de biorremediación de la Licenciatura de Biotecnología, con apoyo de CICM-ICUAP y la Facultad de Ingeniería Química BUAP, a quienes agradecemos su apoyo. Por esta razón, el ensayo duro solo 15 días, cumpliendo así el objetivo de brindar experiencia a los alumnos sobre el alcance de proyecto y las técnicas analíticas empleadas.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

REFERENCIAS

[1]. González-Alonso S, Esteban-Hernández J, Valcárcel-Rivera Y, et al. Contaminación del agua en fuentes cercanas a campos petrolíferos de Bolivia. Rev Panam Salud Pública. 2010, 28(4):235–43.

[2]. Mancilla-Villa, O, Ortega-Escobar, H., Ramírez-Ayala C, Uscanga-Mortera E, Ramos-Bello, R. et al. Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. Rev. Int. Contam. Ambie. 2012, 28 (1):39-48.

[3]. Delgadillo-López A, González-Ramírez C, Prieto-García F, et al. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 2011, 14:597- 612.

[4]. Carrión, C., Ponce-de León, C., Cram, S., Sommer, I., Hernández, M., Vanegas, C. Potential use of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Xochimilco for metal phytoremediation. *Agrociencia*. 2012, 6(46):609-620.

[5]. NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documents/Ciga/agenda/DOFsr/60197.pdf> citado 10 diciembre de 2019.

[6]. NMX-AA-003-1980 Aguas Residuales. Muestreo. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166762/NMX-AA-003-1980.pdf> citado 02 de diciembre de 2019.

[7]. NMX-AA-008-SCFI-2000 Análisis de agua - Determinación del pH - Método de prueba. Disponible en: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2011/01/nmx-aa-008-scfi-2000.pdf> citado 02 de diciembre de 2019.

[8]. NMX-AA-051-SCFI-2016 Análisis de Agua. -Medición de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas método de prueba. Disponible en:

<https://agua.org.mx/biblioteca/nmx-aa-051-scfi-2001-analisis-de-agua-determinacion-de-metales-por-absorcion-atmica-en-aguas-naturales-potables-residuales-y-residuales-tratadas-metodo-de-prueba/> citado el: 1 de diciembre de 2019.

[9]. NMX-AA-030/1-SCFI-2012 Análisis de Agua - Medición de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - método de prueba - parte 1 Método de refluo abierto. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166774/NMX-AA-030-1-SCFI-2012.pdf>. citado 03 diciembre de 2019.

[10]. NMX-AA-034-SCFI-2015 Análisis de Agua - Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba. Disponible en : <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf> citado el 03 de diciembre de 2019.

[11]. Rzedowski GC y Rzedowski J. Manual de Malezas de la Región de Salvatierra, Guanajuato. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Instituto de Ecología-Centro Regional del Bajío. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México. Disponible en: <http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumenss/FLOBA/ConvolvulaceaeI151.pdf>.

Citado 04 de diciembre de 2019.

[12]. Correll DS y Johnston MC. Manual of the vascular plants of Texas. Texas Research Foundation. Renner, Texas. 1970 <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19729703762>. Citado 05 de diciembre de 2019.

[13]. Novelo A y Ramos L. *Pontederiaceae*. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Instituto de Ecología-Centro Regional del Bajío. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: <http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumenss/FLOBA/Saxifragaceae128.pdf> citado: 05 de diciembre de 2019

[14]. Miranda MG y Lot A. El lirio acuático, ¿Una planta nativa de México? *Ciencias* 1999, 53:50-54. [En línea] <https://www.revistaciencias.unam.mx/es/106-revistas/revista-ciencias-53/928-el-lirio-acuatico-iuna-planta-nativa-de-mexico-.html>. Citado 05 de diciembre de 2019.

[15]. Lissy PNA y Madhu G. Removal of heavy metals from waste water using water hyacinth ACEEE *Int. J. on Transportation and Urban Development*, 2011. 01(01): 47-51 DOI: 10.1177/01.01.39 Disponible en: <https://es.scribd.com/document/162434445/Removal-of-Heavy-Metals-from-Waste-Water-Using-Water-Hyacinth> citado 06 de diciembre de 2019

[16]. Paredes J, Ñique M. Optimización de la fitorremediación de mercurio en humedales de flujo

continuo empleando *Eichhornia crassipes* “jacinto de agua” *Investigación y Amazonía* 2015, 5 (2): 44-49

[17]. Galadima LG, Wasagu RSU, Lawal M, et al. Biosorption Activity of *Nymphaea lotus* (Water Lily). *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*. 2015, 3 (4): 2319 – 1813.

[18]. Romero-Hernández JA, Amaya-Chávez A, Balderas-Hernández, P., et al. Tolerance and hyperaccumulation of a mixture of heavy metals (Cu, Pb, Hg, and Zn) by four aquatic macrophytes, *International Journal of Phytoremediation*, 2015, 19 (3): 239-245.

[19]. Palta-Prado GHP, Morales-Velasco SM, Fitodepuración de aguas residuales domesticas con peceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum* en el municipio de Popayán, Cauca. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2013, 11 (2): 57-65.