

Análisis de biomasa modificada a partir del jancito de agua para la remoción de plomo en medios acuosos

Analysis of modified biomass from water hyacinth for lead removal from aqueous media

Belén de Jesús Peredo Sotelo¹, Alma H. Serafin Muñoz ¹, Hugo López Alvarado¹, José Ignacio Ceseña Quiñonez¹, Ulises Emiliano Rodríguez Castrejón¹

¹Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, División de Ingenierías del Campus Guanajuato; Universidad de Guanajuato.
bdj.peredosotelo@ugto.mx¹ sermuah@ugto.mx¹

Resumen

En México existen varios problemas ambientales enfocados con los cuerpos de agua. La eutrofización y la contaminación en varios lagos y presas con un actual problema que se debe atender. El lago de Yuriria, México presenta una invasión el lirio acuático es una planta considerada como maleza por su rápida reproducción y porque afecta la supervivencia de animales y plantas, varios estudios han demostrado que el lirio acuático es un excelente biorremediador. En este trabajo se analizó la capacidad que tiene el material lignocelulósico obtenido del lirio acuático para remover plomo de cuerpos de agua contaminados. Durante la metodología se realizó un pretratamiento en el cual se lavó el lirio para eliminar impurezas que estuvieran contenidas en el, posteriormente se realizaron perlas de alginato para analizar qué porcentaje de remoción de plomo puede ser obtenido mediante esta presentación, se realizó una caracterización del material lignocelulósico para ambas presentaciones trabajadas, fibras y perlas, donde se obtuvo características físicas como lo son, estructura, textura y color. Los resultados demostraron que el material lignocelulósico, sobre todo la presentación en fibras presentó una alta capacidad de remoción de plomo, teniendo un porcentaje promedio de $\pm 98.52\%$.

Palabras clave: Plomo, lirio acuático, material lignocelulósico, metales, lago de Yuriria, tratamiento de aguas.

1. Introducción

El jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*), (figura 1) es una planta libre flotadora (macrófita) que se encuentra principalmente en agua dulces de zonas tropicales y subtropicales. La organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura (FAO) cataloga al lirio acuático como una maleza debido a la reproducción tan rápida ya que impide el paso del sol y el oxígeno afectando la supervivencia de animales y plantas que comparten su ecosistema, sin embargo, se han implementado técnicas para el aprovechamiento del lirio. La fitorremediación es una técnica que se caracteriza por aprovechar la capacidad de las plantas macrófitas para eliminación de una gran variedad de contaminantes presentes en el medio ambiente. En esta técnica las plantas actúan como trampas o filtros biológicos que descomponen los contaminantes y estabilizan las sustancias metálicas presentes en el agua al fijarlos en sus raíces y tallos, o metabolizándolos. (Sergio Adrián Arias Martínez, Ferney Mauricio Betancur Toro, Gonzalo Gomez Rojas, Juan Pablo Salazar Giraldo, 2010). Gran cantidad de estudios

han reportado el uso de macrofitas para la remediación de agua contaminada con metales pesados como (Pb), (Cd), (Cu), (Fe), (Mn), (Zn), (Cr); (Lizbeth Quispe Baldeón, Jimena Betsy Arias Chavez, Cristian Franco Martinez Suarez, Milda Cruz Huaranga, 2017). La más conocida es *E. crassipes* con una eficacia entre el 50 y 90% para eliminar metales dentro de las primeras 24 horas (Bres, P.; Crespo, D.; Rizzo P.; La Rossa, 2012). La capacidad de purificar aguas contaminadas que posee el lirio acuático depende de su crecimiento, que está en función principalmente de la temperatura y la disponibilidad de nutrientes (Costa et al., 2003:283). La industrialización produce efluentes que transportan compuestos tóxicos, entre los que se encuentran los metales. (ATSDR, 2012) Por ejemplo, las sales de metales como el plomo, el zinc, el mercurio, el níquel, el cadmio y el arsénico y que son muy tóxicas para la flora y fauna terrestres y acuáticas y cuyas descargas a cuerpos de agua es la fuente principal de contaminación y como consecuencia, de diversas enfermedades (ATSDR, 2012), (Jaramillo Jumbo, Mariuxi del Cisne, Edison Darío, 2012). Los metales pesados son contaminantes que por su persistencia y transporte a grandes distancias alcanzan con cierta facilidad los cuerpos de aguas superficiales, actualmente uno de los mayores problemas a nivel ambiental es la contaminación de las fuentes hídricas por metales pesados, las principales fuentes de contaminación son actividades industriales tales como la minería, industrias petroleras, agropecuarias y actividades urbanas (Herrera, Rodríguez, Coto, Salgado, Borbón, 2012) Los ríos suelen ser de los principales receptores de residuos generados por actividades humanas, especialmente de metales como el plomo, cadmio, cromo, mercurio y manganeso, los cuales suelen depositarse en el sedimento y estar suspendidos o disueltos en el agua (Rodríguez, Ruiz, Vertiz, 1994). Estos ríos posteriormente transportan los contaminantes a lo largo de su cauce y cuando se desbordan estos contaminantes son depositados en cuerpos de agua, como lagunas, lagos y manantiales. El plomo es un metal que se encuentra de forma natural en la corteza terrestre. Es un elemento que no se degrada y que puede viajar largas distancias antes de depositarse en la tierra (ATSDR, 2021). El plomo puede afectar casi todos los órganos y sistemas del cuerpo, y en exposiciones a niveles altos puede provocar severos daños en el cerebro, riñones y hasta causar la muerte (ATSDR, 2021). El plomo es uno de los contaminantes con mayor presencia en los cuerpos de agua, es por ello por lo que se han buscado distintas alternativas de remediación y eliminación de plomo de estos cuerpos de agua, siendo una de las más factibles la fitorremediación con el lirio acuático, esto debido a que tiene un costo bastante accesible y a que se puede aprovechar la capacidad que posee esta planta para actuar como un filtro y de esta manera retener los contaminantes en ella.

En el presente estudio se llevó a cabo el análisis de la capacidad de remoción que tiene el material lignocelulósico modificado obtenido del jacinto de agua frente a problemas de

contaminación de agua con plomo y cuál es la efectividad que se podría tener al utilizar esta técnica de remediación.

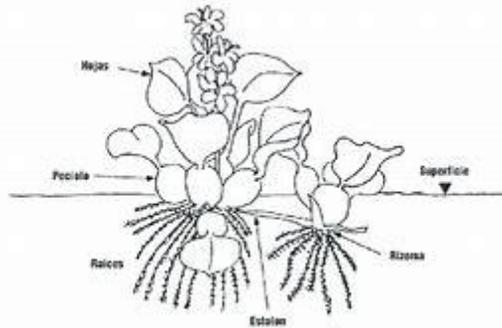


Figura 1. Estructura de *Eichhornia crassipes*. (Lara Borrero, J. 2012).

2. Metodología

Pretratamiento. El lirio fue obtenido de la presa de Yurira y posteriormente se lavó, una vez lavado, se mezclaron, raíces, hojas, tallo y se volvió a lavar aproximadamente 20 veces con agua corriente y después se dejó en peróxido al 20% durante 24h, esto para eliminar toda la suciedad que pudiera quedar en el lirio, se secó en la estufa a 50 °C durante aproximadamente 48h, una vez que el lirio secó, se procedió a triturar y tamizar en una malla No. 20 y después fue almacenado para su uso posterior.

Perlas de alginato. Para la producción de perlas de alginato, se pesó 5.512g de CaCl_2 y en un matraz Erlenmeyer se aforó a 75mL con agua destilada y se mezcló con el CaCl_2 previamente pesado, posteriormente usando una parrilla y un agitador magnético, se agitó a una velocidad No.6 durante algunos minutos, en otro matraz Erlenmeyer, de igual forma en una parrilla a temperatura entre 60 °C y 80 °C y en agitación con una velocidad No.6 se colocó 100mL de agua destilada y se le agregó lentamente 2.5g de alginato, una vez que se adicionó todo el alginato y se mezcló de manera homogénea, en una probeta se midió el volumen total obtenido el cual fue 115mL y en base a eso se adicionó al alginato 0.05mg de biomasa por cada 1mL de alginato, en total se agregó 5.75mg de biomasa, mientras se agregaba la biomasa, el matraz continuó en agitación y con temperatura. Posteriormente en un recipiente se agregó la solución formada con CaCl_2 y con ayuda de una pipeta Pasteur, se tomó la mezcla de alginato-biomasa, siendo esto último la parte donde se obtuvo la formación de las perlas de alginato.

Lavado de material lignocelulósico en equipo soxhlet. Antes de utilizar el equipo soxhlet, se lavó con jabón y agua corriente, después se enjuago con agua desionizada y finalmente se dejó durante 24h en HNO_3 al 10%, pasadas las 24h se enjuago nuevamente con agua desionizada y se dejó secar, una vez que el equipo se secó, fue montado para su uso, para montar el equipo de utilizó un soporte universal, tres pinzas de tres dedos, una parrilla, dos mangueras y un equipo de recirculación modelo LAUDA ALPHA RA12, el cual estaba conectado al soxhlet mediante las dos mangueras, una vez montado el equipo, se realizó un cartucho con papel filtro en el que se colocó 3g de lirio y este fue introducido dentro del equipo para lavarlo, se completaron 3 ciclos de lavado y una vez

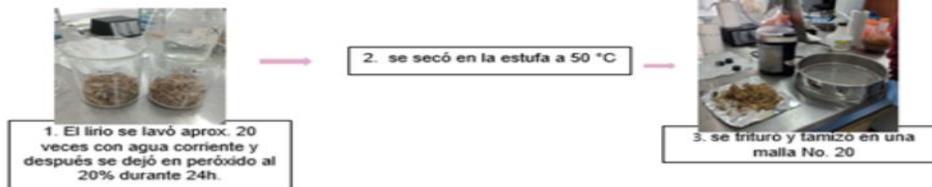
completados los ciclos, se desmontó el equipo y se sacó el cartucho que contenía el lirio y se secó en la estufa a 50 °C durante 24h.

Caracterización de material lignocelulósico. Se tomaron 20 perlas de alginato ya secas y se pesaron 1 por 1, después se tomaron otras 10 perlas de alginato con material lignocelulósico y se pesaron en una balanza analítica, posteriormente se tomó el diámetro de cada una de esas 10 perlas, y con esas mismas perlas, en un matraz Erlenmeyer de 10mL se depositaron y se les agregó agua por 15 minutos para así poder determinar el porcentaje de humedad, después se observó en microscopio estereoscópico, para observar su aspecto, luego se calculó la densidad, llenando una probeta de 10mL con perlas de alginato hasta 1mL, se tomó el peso de las perlas y para obtener la densidad se dividió el peso de las perlas entre el volumen que en este caso fue 1mL.

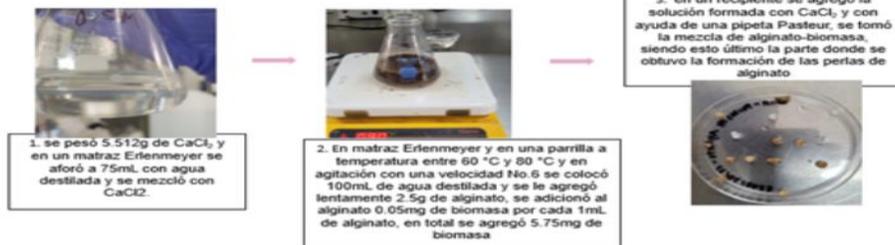
Análisis de remoción de Pb con material lignocelulósico. Se determinaron las concentraciones que se utilizarían en base a los límites permisibles presentes en la NOM-127-SSA1-2021 los cuales eran 0.01mg/L, en este caso, las concentraciones utilizadas fueron 0.01mg/L, 0.5mg/L y 2mg/L. para realizar las concentraciones, primero se realizó un estándar a 10ppm, para esto se utilizó una solución de HNO₃ al 0.1 y solución estándar de Pb a 1000ppm, para el estándar primero se preparó el HNO₃ al 0.1% utilizando 72μL de HNO₃ al 70% los cuales fueron colocados en un matraz volumétrico de 50mL y se aforó con agua desionizada, posteriormente, en otro matraz volumétrico de 50mL se agregó 100μL de estándar de Pb a 1000ppm y se aforó con la solución de HNO₃ al 0.1%, una vez lista la solución estándar se procedió a preparar 150mL de cada concentración (0.01mg/L, 0.5mg/L y 2mg/L), para esto se utilizaron matraces volumétricos de 50mL y 100mL, la solución estándar y agua desionizada. Para la primera concentración 0.01mg/L se utilizó 150μL de solución estándar y se aforó con agua desionizada, para la concentración 0.5mg/L se utilizó 7,500μL de solución estándar y se aforó con agua desionizada, para la última concentración 2mg/L se utilizó 30,000μL de solución estándar y se aforó con agua desionizada, una vez que realizadas todas las concentraciones, fueron almacenadas en tubos Falcon de 50mL y fueron llevadas a refrigeración. En tubos Falcon de 15mL se pesaron las perlas y la fibra (0.015g) que contendría cada uno de los tubos, una vez pesadas todas y cada una de las perlas y la fibra se procedió a agregar 10mL de cada concentración en cada uno de los tubos (por duplicado), para la primera hora de contacto una vez vaciados los 10mL en cada tubo (2 tubos 0.01mg/L, 2 tubos 0.5mg/L, 2 tubos 2mg/L, para perla y para fibra y un control de cada una de las concentraciones), se colocaron los tubos en el rotamix RKVSD durante una hora, pasado ese tiempo se filtró cada uno de los tubos, separando así biomasa de la solución de Pb, de esta misma forma se realizaron los siguientes tiempos de contacto de dos y cuatro horas, una vez que se terminó cada tiempo de contacto y que se filtró cada tubo, las muestras fueron almacenadas para posteriormente llevarlas a análisis en equipo de absorción atómica.

Análisis en equipo de absorción atómica. Se realizaron cuatro soluciones estándares; 0.01mg/L, 0.1mg/L, 1mg/L y 3mg/L para realizar la curva de calibración, posteriormente se tomaron todas las muestras ya filtradas y cada uno de los blancos para ser analizados en el equipo de absorción atómica AAS Perkin Elmer PinAAcle 900f mediante el método propuesto por el mismo equipo de absorción atómica, el cual arrojaba las concentraciones finales para después ser analizadas y comparadas.

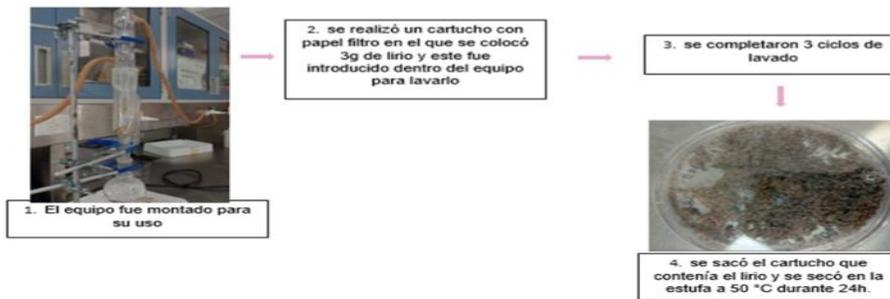
Pretratamiento de lirio



Formación de perlas de alginato



Lavado de material lignocelulósico en equipo soxhlet



Análisis de remoción de Pb

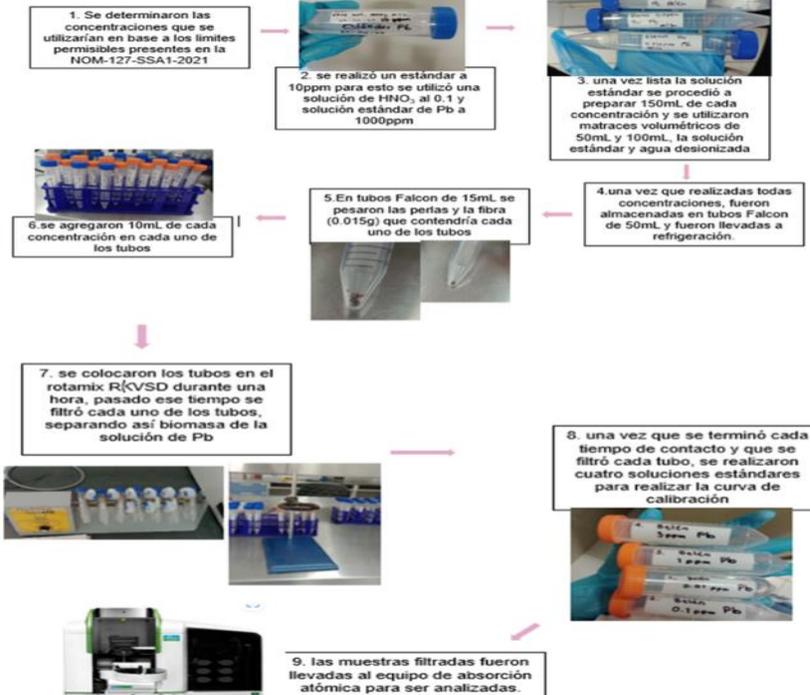


figura 2. Diagrama de metodología. Fuente: autor

3. Resultados y discusión

Caracterización de material lignocelulósico. La caracterización del material lignocelulósico fue realizada tanto para perlas y fibra obteniendo así los siguientes resultados. Durante la formación de las perlas de alginato, se obtuvo un total de 543 perlas con las cuales se trabajó para realizar un análisis estadístico del peso de las perlas en seco, en la tabla 1 se puede observar el peso promedio el cual arroja un valor de $\pm 0.012\text{g}$ con una desviación estándar de 0.004. también se obtuvo un análisis estadístico de sus diámetros que se puede observar en la tabla 2 el cual se presenta con un valor promedio de $\pm 2.837\text{g}$ y con una desviación estándar de 0.265, de igual forma se determinaron las densidades unitarias en peso seco, obteniendo como resultado un valor $\pm 0.010\text{g/mL}$, valor que se puede confirmar en la tabla 3.

Tabla 1. Descripción estadística de los pesos de las perlas de alginato en seco.

<i>descripción estadística de peso de perlas en seco (g)</i>	
Media	0.01267
Error típico	0.000949213
Mediana	0.01405
Moda	0.0068
Desviación estándar	0.004245009
Varianza de la muestra	1.80201E-05
Curtosis	-0.939014844
Coefficiente de asimetría	-0.305295633
Rango	0.0147
Mínimo	0.0051
Máximo	0.0198
Suma	0.2534
Cuenta	20

Mediante microscopía estereoscópica se observaron características físicas como la estructura (figura 3), donde pudimos observar que presentaban una forma esférica con una textura porosa, también se observó que presentan una coloración marrón, este color se le atribuye a la presencia del material lignocelulósico hecho a base del lirio, el cual contenía raíces, hojas y tallos, por eso la tonalidad.

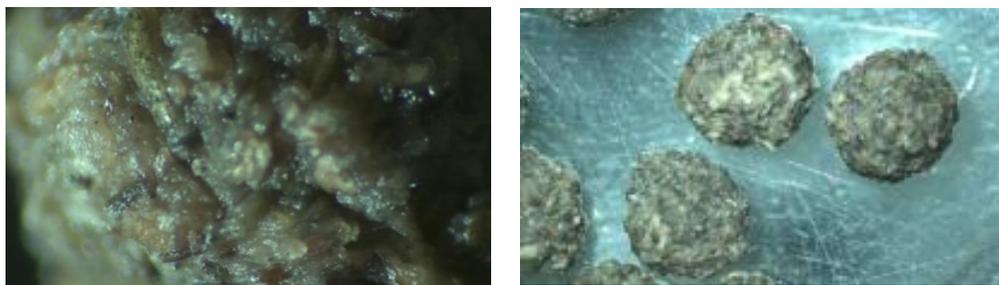


figura 3. Caracterización física en microscopía estereoscópica de perlas de alginato. Fuente: autor

Tabla 2. Descripción estadística del diámetro de las perlas de alginato.

<i>descripción estadística del diámetro de perlas</i>	
Media	2.837
Error típico	0.083878881
Mediana	2.73
Moda	2.73
Desviación estándar	0.265248311
Varianza de la muestra	0.070356667
Curtosis	0.119718026
Coficiente de asimetría	0.979502699
Rango	0.86
Mínimo	2.5
Máximo	3.36
Suma	28.37
Cuenta	10

Tabla 3. Densidad unitaria de perlas de alginato en seco

densidad unitaria de perlas en seco g/mL	
densidad	0.010306522

De igual forma, las fibras también fueron analizadas mediante microscopia estereoscópica donde se logró observar que su estructura presenta forma alargada y puntiaguda, con colores en tonos marrón, amarillo y verdosos, estas tonalidades de le atribuye a que el material lignocelulósico se obtuvo mediante una mezcla lirio acuático que contenía, raíces, hojas y tallos y finalmente se observó que poseía una textura porosa.



figura 4. Caracterización física en microscopia estereoscópica de fibras. Fuente: autor

Capacidad de remoción de Pb con material lignocelulósico

En la figura 5 se observa una curva de calibración realizada con las concentraciones 0.01, 0.1, 1 y 3 mg/L mediante el equipo de absorción atómica AAS (PerkinElmer PinAAcle 900f). Como resultado se obtuvo R^2 con un valor de 0.9994, lo cual efectivamente lo podemos interpretar como una garantía de los resultados obtenidos.

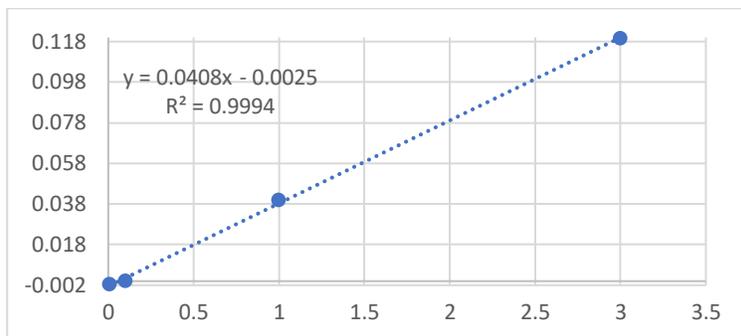


figura 5. Curva de calibración de plomo en el rango de concentraciones de 0.01, 0.1, 1 y 2 mg/L empleando el equipo de absorción atómica AAS PerkinElmer PinAAcle 900f. fuente: autor.

Perlas. En la figura 6 se puede observar el porcentaje de remoción de plomo obtenido con perlas de alginato y material lignocelulósico, donde se observa mayor porcentaje de remoción es en las concentraciones 0.01mg/L, obteniendo en los tres tiempos analizados un promedio de remoción del $\pm 96.86\%$ con una desviación estándar de 0.585, por otra parte, las concentraciones 0.5 mg/L presentaron un nivel de remoción más bajo con un promedio de remoción de $\pm 84.35\%$ y una desviación estándar de 10.58 y finalmente la remoción más baja se observa en la concentración de 2mg/L donde se obtuvo un promedio de remoción de $\pm 48.74\%$ con una desviación estándar de 23.35.

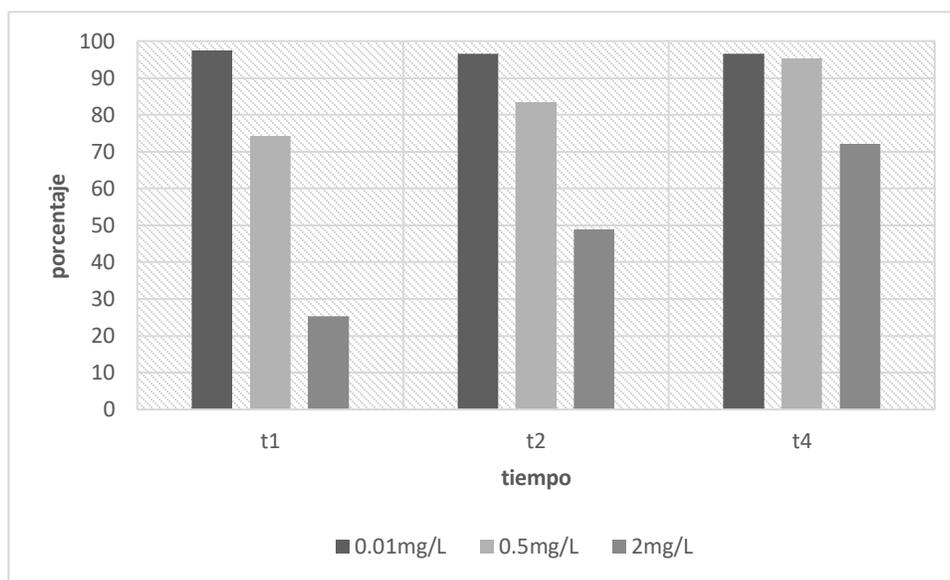


figura 6. Porcentajes de remoción de plomo mediante perlas de alginato. Fuente: autor

fibras. De igual forma en la figura 7 se observa el porcentaje de remoción de plomo mediante fibras, donde se puede observar que en las tres concentraciones que se manejaron, 0.01, 0.5 y 2 mg/L se obtuvo un alto porcentaje de remoción, siendo el caso para las concentraciones 0.01 y 0.5 donde se obtuvo el $\pm 98.18\%$ y $\pm 97.76\%$ de remoción, respectivamente durante los tres tiempos de análisis 1, 2 y 4h y con desviaciones estándar de 0.507, 0.548 respectivamente, el porcentaje de remoción más bajo que se obtuvo fue para los niveles de concentración de 2mg/L obteniendo como promedio $\pm 94.48\%$ con una desviación estándar de 0.912.

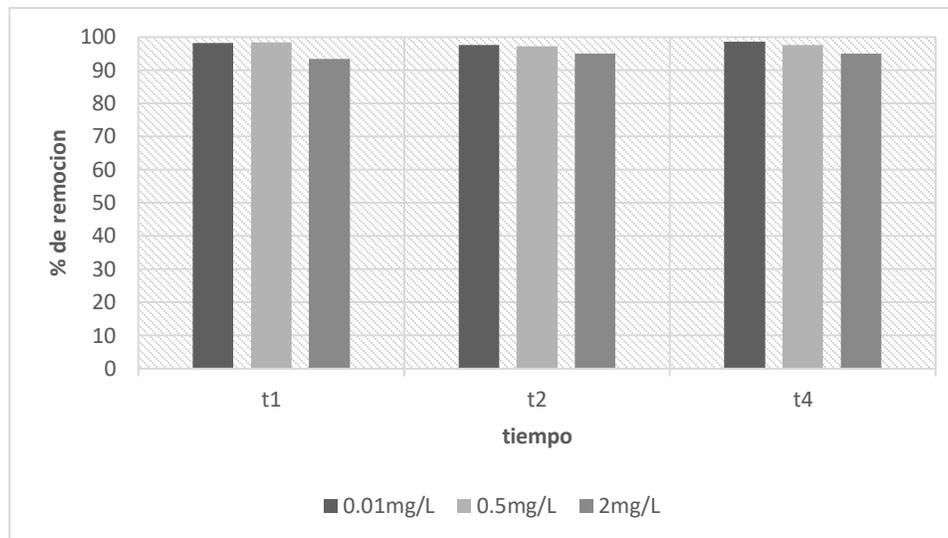


figura 7. Porcentajes de remoción de plomo mediante fibra. Fuente: autor

Se observó que se obtuvo un mayor porcentaje de remoción de plomo mediante las fibras con un valor del 93% al 98.5% a comparación de las perlas donde se obtuvo un porcentaje de remoción que va del 16% al 97% en las concentraciones más bajas, esto debido a que se tiene una mayor superficie de contacto con la fibra, ya que las perlas se encuentran de forma compacta y el fluido no penetra por completo dentro de la perla o penetra en cantidades pequeñas, también se determinó que a mayor tiempo de contacto, se obtiene mayor porcentaje de remoción, esto gracias a que el material lignocelulósico absorbe durante más tiempo el contaminante. El jacinto de agua se ha utilizado en varios estudios para evaluar su capacidad dentro del campo de aplicación de la fitorremediación. La capacidad de remoción obtenida concuerda con lo establecido por Jahangiri et al. (2021), Zhengji Yi et al. (2019), ya que expresan una capacidad de remoción de 93% en un tiempo de contacto de 90 minutos y 65% en un tiempo de contacto de 20 minutos respectivamente. Ambos autores utilizan presentaciones similares de biomasa la cual fue obtenida solo de las raíces del jacinto de agua, esto es favorable ya que se obtiene un alto rendimiento y con un costo de producción considerablemente bajo a comparación de otros métodos utilizados para la biorremediación de cuerpos de agua contaminados, además de que el jacinto de agua se considera como una maleza debido a su rápido proliferación y a los problemas que genera a los cuerpos de agua donde está localizado es por eso que el uso del jacinto de agua es cada vez más considerado como una alternativa de remediación ya que también favorece al control de la proliferación de esta planta.

Conclusión

El material lignocelulósico obtenido del lirio acuático mediante dos presentaciones (perlas de alginato y fibra) presentó una gran capacidad de remoción de plomo en aguas contaminadas. Este trabajo contribuye para futuros proyectos, considerando que el lirio acuático presenta un gran rendimiento de remoción, además de que puede dar pie a futuras investigaciones en el campo de la fitorremediación para emplear nuevas técnicas innovadoras y asequibles para comunidades marginadas.

Agradecimientos

Los autores agraden el valioso apoyo del comité del XXVII verano de la ciencia UG de la dirección de apoyo a la investigación y al posgrado (DAIP) de la universidad de Guanajuato; edición 2023.

Referencias

- Bres, P., Crespo, D., Rizzo, P., & La Rossa, R. (2012). Capacidad de las macrofitas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* para eliminar el níquel. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 38(2), 153-157.
- Jaramillo Jumbo, M. D. C., & Flores Campoverde, E. D. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera (Bachelor's thesis). <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>
- Núñez, J. H., Corrales, J. R., Campos, J. M. C., Silva, V. S., & Alpizar, H. B. (2013). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología en Marcha*, 26(1), 27-36.
- Flores, C. M., Del-Angel, E., Frías, D. M., & Gómez, A. L. (2018). Evaluación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(2), 39-57. DOI: 10.24850/j-tyca-2018-02-02
- Arias Martínez, S. A., Betancur Toro, F. M., Gómez Rojas, G., Salazar Giraldo, J. P., & Hernández Ángel, M. L. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. <https://hdl.handle.net/11404/3250>
- Baldeón, L. Q., Chavez, J. B. A., Suarez, C. F. M., & Huaranga, M. C. (2017). Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 1(1). DOI:<http://dx.doi.org/10.17162/rictd.v1i1.899>
- Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>
- Carrión, C., Ponce-de León, C., Cram, S., Sommer, I., Hernández, M., & Vanegas, C. (2012). Aprovechamiento potencial del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en Xochimilco para fitorremediación de metales. *Agrociencia*, 46(6), 609-620. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000600007
- Araya, J. G. C. (1990). El uso del lirio acuático *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales. *Tecnología en marcha*, 10(3), 23-28.
- Rodríguez-Lara, J. W., Cervantes-Ortiz, F., Arámbula-Villa, G., Mariscal-Amaro, L. A., Aguirre-Mancilla, C. L., & Andrio-Enríquez, E. (2022). Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*): una revisión. *Agronomy Mesoamerican*, 44201-44201. doi:10.15517/am.v33i1.44201

NOM-127-SSA1. Norma Oficial Mexicana. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. (2021)

Yi, Z., Liu, J., Liu, X., Zeng, R. y Cui, Y. (2019, agosto). Eliminación de plomo (II) de las aguas residuales por el jacinto de agua. En IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 310, No. 4, p. 042015). IOP Publishing. DOI 10.1088/1755-1315/310/4/042015

Jahangiri, F. M., Moutushi, H. T., Moniruzzaman, M., Hoque, S. y Hossain, M. E. (2021). Eliminación de plomo de soluciones acuosas y aguas residuales utilizando raíces de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). *Práctica y tecnología del agua*, 16(2), 404-419. doi: 10.2166/wpt.2021.005