

Remoción de arsénico en medios acuosos a través de material modificado proveniente de biomasa de plantas del género *Eichhornia*

Arsenic removal in aqueous media by modified material from plant biomass of the genus *Eichhornia*

Cuellar Mozqueda Maria Jose ¹, Serafin Muñoz Alma Hortensia ^{1*}, López Alvarado Hugo¹, Rodríguez Castrejón Ulises Emiliano¹, Zavala Sánchez Mayela Janeth¹, Ceseña Quiñonez José Ignacio ¹.

¹ Departamento de Ingeniería Civil y ambiental de la División de Ingenierías del Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.

mj.cuellarmozqueda@ugto.mx; sermuah@ugto.mx *

Resumen

Actualmente en los cuerpos de agua se han encontrado concentraciones de metales pesados y metaloides que pueden llegar a causar daños al medio ambiente y a la salud ambiental. En este trabajo de investigación se realizó un estudio para crear el diseño de de biomasa vegetal modificada para la remoción de arsénico (As) de aguas contaminadas. Se manejaron dos modelos, uno consistía en fibras lignocelulósicas y el otro en perlas de alginato con biomasa de lirio acuático. Se utilizaron tres concentraciones distintas de As, 5, 10 y 25 µg/L; las cuales se pusieron en contacto con los materiales biomásico por tres tiempos distintos (1, 2 y 4 h). Los resultados demostraron que la remoción de As con las fibras fue menor al $5\pm 0.22\%$ y con las perlas se obtuvo un porcentaje de remoción hasta de un $10\pm 0.12\%$. En base a estos resultados se observa que se necesita ampliar las propuestas de diferentes diseños, para aumentar la factibilidad de remoción de arsénico. Este trabajo contribuye en analizar las perspectivas de uso de la biomasa vegetal proveniente del lirio, ya que éste representa una amenaza debido a su rápida propagación en las lagunas del estado causando problemas de eutrofización.

Palabras clave: Fibras vegetales, alginato, metaloide, lignocelulósicas, biomasa.

1. Introducción

La descarga en los cuerpos de agua de efluentes industriales contaminados con metales pesados es un grave problema para resolver, puesto que su presencia y acumulación causa diversos efectos tóxicos en las especies vivientes. (Cooney, 1999). Los metales pesados en el agua, son considerados un problema de gravedad para los habitantes de las poblaciones que se abastecen de los rios en especial si se considera que el incremento en la concentración de estos metales en las fuentes hídricas procede de las diversas actividades antropogénicas, haciendo que se eleven los efectos potencialmente nocivos sobre los diferentes sistemas ecológicos y el ambiente, los cuales son el soporte de la vida humana. (Contreras, 2010. Cartaya, 2008).

El Arsénico (As) es un metaloide muy tóxico que se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre; ocupa el vigésimo lugar entre los elementos más abundantes. Es un constituyente natural de ciertas rocas y formaciones minerales, como la arsenopirita y minerales de sulfuro. A través del proceso de erosión, desintegración y disolución de las rocas contamina los mantos acuíferos, en donde se le encuentra como sales inorgánicas de arsenito (As III) y arsenato (As V), el primero es más tóxico. (Ochoa, 2009).

El arsenico es difícil de destruirse cuando ingresa al ambiente, lo que permite que se pueda esparcir y causar daños en la salud de los humanos, animales y dañar la flora que esta en el lugar. La mayor amenaza para la salud pública debido al arsenico es el uso de agua contaminada con este metaloide para beber, preparar alimentos y regar cultivos alimentarios. Una exposición prolongada al As a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas. También, se ha asociado a problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes. Razón por la cual, resulta importante la intervención en las comunidades afectadas, para evitar la exposición al As. (Gonzales, 2016). Existen diferentes fuentes de contaminación antropogénicas, las principales son la quema de carbón y la fundición de metales industriales y la liberación de minerales ricos en arsénico durante la extracción minera de otros compuestos. (Mukhopadhyay et al., 2002). Debido a la toxicidad que presenta el As la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que el consumo de agua con As no debe ser superior a 10 µg L⁻¹. (WHO, 2003; EPA, 2006). En el caso de México se utiliza la Norma Oficial Mexicana 127 (NOM-127-SSA1-2021) en donde se decretan los límites permisibles de calidad de agua para uso y consumo humano que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados, estableciendo un concentración límite de 25 µg L⁻¹.

Existen diferentes tecnologías para el tratamiento de la eliminación del arsénico como: coagulación/floculación, filtración por membrana, procesos de precipitación, oxidación química, tratamiento biológico, electroquímicos y los biosorbentes. La tecnología de biosorbentes remover los contaminantes de manera eficiente mediante procesos de sorción, entre los más importantes se encuentran el carbón activado, biomasa viva (vegetales y microorganismos principalmente), arcillas, resinas sintéticas, óxidos naturales, zeolitas y biomasa no viva. (Marin, 2010). La biosorción presenta varias ventajas con respecto a otros métodos: se obtiene agua residual tratada de alta pureza y la materia prima es bastante económica, ya que en ocasiones puede ser un producto residual de otras industrias, un producto residual agrícola o ser biomasa natural abundante en la naturaleza. En ocasiones el metal o metaloide puede desorberse rápidamente y recuperarse (Kratochvil y Volesky, 1998). El proceso de sorción de metales utilizando biomasa, actúa como intercambiador de iones, por lo que lo hace ser un método preciso y selectivo, que requiere de pocos minutos de tratamiento, además este proceso resulta ser altamente efectivo para la eliminación de metales (Obelholser y McGarrity, 1992). Algunas plantas acuáticas tienen una alta capacidad para acumular metales pesados por diferentes mecanismos y luego permiten la depuración de aguas altamente contaminadas, por vertidos industriales o agroquímicos, la especie *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* se utilizan para descontaminar o reducir los niveles de contaminantes que podría estar presentes en los cuerpos de agua. (Maine et al., 2001; Chua, 1998; So et al., 2003).

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es originario de Centroamérica y Sudamérica desarrollándose en las zonas tropicales, aunque se ha adaptado a otros climas llegando a proliferarse en el sureste de los Estados Unidos después de haberse introducido por

algún medio, presumiblemente por la mano del hombre. (Marin, 2010). El lirio, además de utilizarse para la fitorremediación, puede fungir para varios propósitos, como la producción de etanol, de abono verde (composta), biogás en la alimentación animal y la extracción de ácidos grasos volátiles (Uday et al., 2016),



Figura 1. Lirio acuático *Eichhornia crassipes* de la Presa de San Miguel de Allende, Guanajuato, México. Fuente: Autor.

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es originario de Centroamérica y Sudamérica desarrollándose en las zonas tropicales, aunque se ha adaptado a otros climas llegando a proliferarse en el sureste de los Estados Unidos después de haberse introducido por algún medio, presumiblemente por la mano del hombre. (Marin, 2010). El lirio, además de utilizarse para la fitorremediación, puede fungir para varios propósitos, como la producción de etanol, de abono verde (composta), biogás en la alimentación animal y la extracción de ácidos grasos volátiles (Uday et al., 2016). Varios trabajos han demostrado que el lirio acuático *E. crassipes* puede ser utilizado en la remoción de organofosforados, en un caso particular el clorpirifos (insecticida) fue removido con gran facilidad, lo que indica que esta especie invasora puede ser utilizada en beneficio de los ambientes contaminados (Anudechakul et al., 2015)

En este trabajo de investigación se busco el diseño de un prototipo biomásico proveniente del lirio acuático para la remoción de As.

2. Metodología

Este trabajo de investigación se desarrolló en dos etapas; la primera consistió en la producción de los biomateriales adsorbentes que van desde el lavado de la biomasa hasta la prueba de contacto donde se analiza su capacidad de remoción de As con las perlas de alginato y las fibras lignocelulósicas.

2.1 Lavado de biomasa. Se lavo la biomasa de lirio acuático, primero se le dieron de 15 a 20 enjuagues con agua corriente hasta que se pudiera notar que se removía el mayor porcentaje de polvo que este podría contener, después se dejó en peróxido al 20% durante 24hrs. La biomasa lavada se extendió en una charola aluminio para posteriormente dejarla en el horno en una temperatura de 50°C por 48hrs para poder eliminar toda la humedad y este quedara totalmente seco.

2.2 Elaboración de perlas de alginato. En esta etapa se mezclaron 4 g de Alginato con 125 mL de agua destilada, es importante que el Alginato se agregue de poco en poco en cantidades muy pequeñas mientras se agita a una temperatura entre los 60-80°C, después de eso se dejó durante 20 minutos en el agitador hasta que se logró una

consistencia viscosa. También se mezclaron 75 mL de agua destilada con 5.512 g de CaCl para que se obtuviera una molaridad de 0.5 M. Posteriormente se le agregaron 6.25mg de biomasa de lirio acuático al alginato ya disuelto, se mezcló hasta obtener una sustancia homogénea y con coloración oscura. Con una pipeta Pasteur se tomó la mezcla del alginato y biomasa para dejar caer gota por gota a un refractario con el CaCl, debe ser una superficie profunda para que se le pueda dar la forma de perlas. Después de utilizar toda la solución de alginato se dejaron secando a temperatura ambiente donde se pudo observar que su tamaño disminuyó debido a que perdieron humedad.

2.3 Obtención de fibras lignocelulósicas. Aparte de la elaboración de las perlas de alginato se limpiaron 3 g de biomasa de lirio acuático en el equipo soxhlet, se dejó secando en el horno a 40°C.

2.4 Análisis de caracterización física del material obtenido. Se realizó un análisis de las características físicas del material lignocelulósico a base de lirio acuático donde se midió el diámetro con ayuda de un equipo Vernier Digital Clíper, se calculó su porcentaje de humedad y su densidad. Por medio de microscopia estereoscópica con un equipo Stemi 305 con AxioCam 208 color de marca Zeiss con el software de aumento Blue Ziess se determinó la textura, color y tamaño del material

2.5 Remoción de As por material lignocelulósico. Se prepararon 150 mL de 3 concentraciones distintas, de 0.005 ppm, 0.010 ppm, 0.025ppm, para poder llegar a estas concentraciones primero fue necesario preparar una solución estándar de As de 10ppm en base al patrón de As de 1000 ppm. Se manejaron 3 distintos tiempos de contacto, 1 h, 2 h, 4 h. Por cada tiempo se introdujeron 14 tubos Falcón al Rotamix ATR, 7 con perlas de alginato y 7 con biomasa, se manejaron por duplicado las concentraciones para cada material lignocelulósico.

después se realizó un filtrado para poder separar el material biomásico de las soluciones con arsénico y poder analizar las muestras en Absorción atómica.

2.6 Determinación de As por Absorción Atómica y generación de hidruros (AAS-HG). Se realizó una curva de calibración con 0, 1, 3 y 5 µg/L (ppb). Se analizaron las muestras por medio de espectrometría de absorción atómica acoplada a generador de hidruros en el equipo AA PinAAcle 900 modelo 900f para obtener las concentraciones finales del medio acuoso.



Figura 2. Diagrama metodología. Fuente: Autor.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización del material lignocelulósico

Perlas. Con el análisis de microscopía estereoscópica se caracterizaron las perlas, se logró observar que tienen un color verde oscuro, combinado con marrón, conservan una forma esférica y presentar algunos bordes irregulares. (Figura 3)



Figura 3. Perlas de alginato análisis estereoscópico. Fuente: Autor

Los pesos de las perlas de alginato variaron debido a que no todas obtuvieron el mismo tamaño, mediante el análisis estadístico se observó que el peso promedio fue de 0.01907 g como se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Análisis estadístico perlas de alginato.

Datos estadísticos de pesos. Perlas de alginato.	
Parámetro estadístico	valor
Media	0.01907
Error típico	0.001610265
Mediana	0.01815
Moda	0.028
Desviación estándar	0.007201323
Varianza de la muestra	5.18591E-05
Curtosis	-0.270673295
Coficiente de asimetría	0.36574752
Rango	0.0277
Mínimo	0.006
Máximo	0.0337
Suma	0.3814
Cuenta	20

Se encontraron tamaños muy variados en las perlas de alginato secas, en el análisis estadístico del diámetro se obtuvo que el diámetro promedio de estas es de 2.953 mm (Tabla 2). En el análisis de densidades se analizó la densidad total de 46 perlas húmedas y la densidad de una sola perla. Tabla 3.

Tabla 2. Descripción estadística de diámetros de perlas secas (mm)

Descripción estadística de diámetros de perlas de alginato secas (mm)	
Parámetro estadístico	valor
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
Coefficiente de asimetría	0.979502699
Rango	0.86
Mínimo	2.5
Máximo	3.36
Suma	28.37
Cuenta	10

Tabla 3. Densidades unitarias de perlas de alginato

Densidades unitarias de perlas de alginato	
Densidad total (g/mL)	0.4741
Densidad perla/perla	0.010306522

Fibras. Con la microscopia estereoscópica se determinó que las fibras lignocelulósicas presentan una textura porosa con formas fibrosas irregulares, se observaron distintos colores que van desde el amarillo, verde hasta un color marrón no tan oscuro. También se pudo observar la presencia de celulosa debido a un brillo que resaltaba en la superficie.



Figura 4. Fibras lignocelulósicas en microscopia estereoscópica. Fuente: Autor

3.2 Capacidad de remoción de As

Para la cuantificación de arsénico, se obtuvo una curva de calibración de con $R^2=0.9988$, y la ecuación: $y = 0.0533x + 0.0149$ (Figura 5). El valor de R^2 obtenido valida los resultados obtenidos en la cuantificación de arsénico total por AAS-HG.

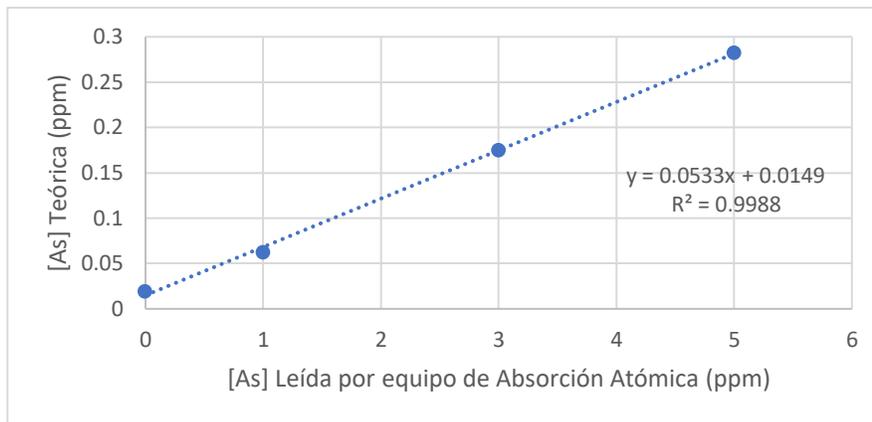


Figura 5. Curva de calibración de Arsénico en el rango de concentraciones de 0.001, 0.003 y 0.005 $\mu\text{g/L}$. Equipo de Absorción atómica PinAAcle 900, Modelo 900f. Fuente: Autor.

La efectividad de remoción de As con las fibras de material lignocelulósico fue muy baja como se muestra en la figura 6. En los primeros dos tiempos 1 h y 2 h no se presentó remoción en ninguna de las concentraciones. Únicamente se presentó remoción de As en el tiempo de 4 h, para la concentración de 5 $\mu\text{g/L}$ se tuvo un porcentaje de remoción del 0.6%. Para la concentración de 10 $\mu\text{g/L}$ se obtuvo un porcentaje de remoción del 3.9 y para la concentración de 25 $\mu\text{g/L}$ el porcentaje que se removi6 fue de 4.58%. Estos datos demuestran que potencial de remoción para arsénico con fibras lignocelulósicas no es factible.

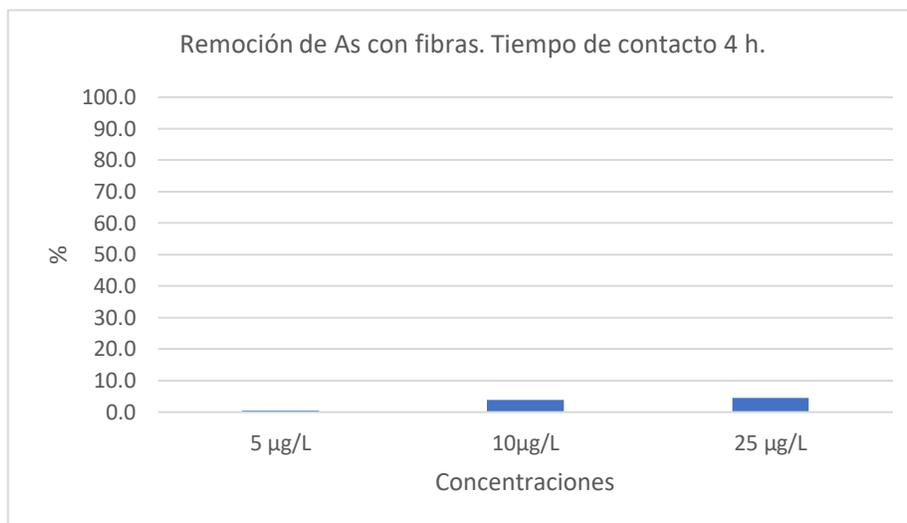


Figura 6. Gráfico de porcentaje de remoción de As con fibras material lignocelulósico de lirio acuático para las concentraciones de 5, 10 y 25 $\mu\text{g/L}$ en el tiempo de 4 h.

En lo que respecta a la remoción de As mediante las perlas de alginato con fibra de lirio acuático se observó remoción en los 3 tiempos de contacto 1 h, 2 h y 4 h (Figura 7). Para la concentración de 5 $\mu\text{g/L}$ se obtuvo una remoción del 4.0% durante el tiempo de contacto de una hora, 4.2% durante el tiempo de dos horas y 6.3% en el tiempo de 4 horas. Para la concentración de 10 $\mu\text{g/L}$ se obtuvo un porcentaje de 5.1% de remoción durante el primer tiempo de contacto, en el tiempo de dos horas se obtuvo un porcentaje de

remoción del 7.7% y en el tiempo de cuatro horas de contacto se obtuvo un 8.2% de remoción. Para la última concentración de 25 µg/L se removió un 5.1 % durante el tiempo de contacto de una hora, para el segundo tiempo de contacto (2 h) se obtuvo un 8.4% de remoción y para el tiempo de contacto de 4 h se obtuvo un 10.7% de remoción de arsénico (Figura 8).

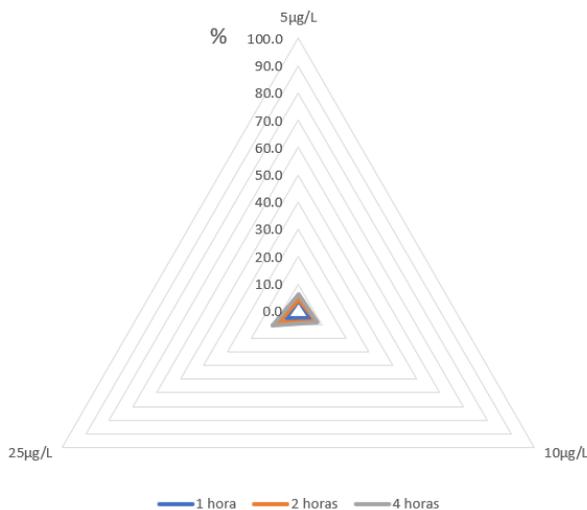


Figura 7. Grafica de porcentaje de remoción de As con perlas de alginato a base de material lignocelulósico de lirio acuático. Fuente: Autor

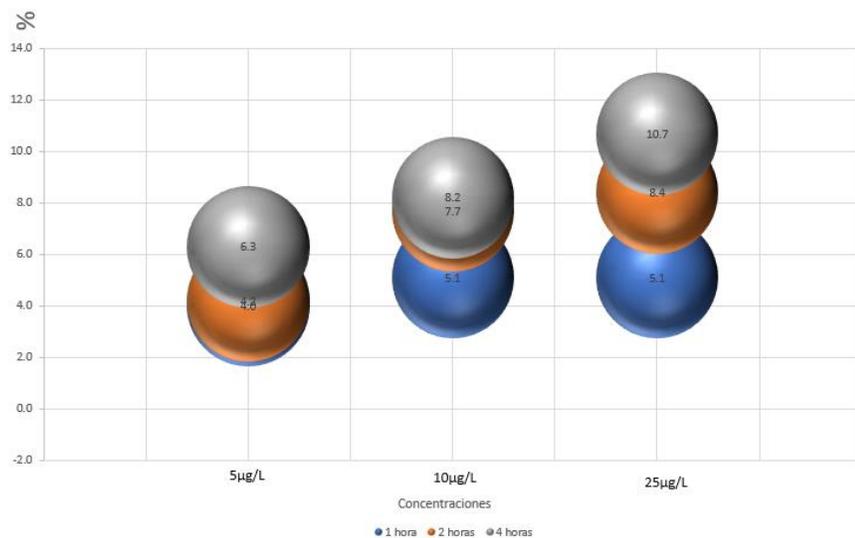


Figura 8. Grafica de porcentaje de remoción de As con perlas de alginato a base de material lignocelulósico de lirio acuático. Fuente: Autor.

En base a los resultados obtenidos se puede observar que la capacidad de remoción del Arsénico con fibras lignocelulósica es muy baja, ya que solo logro remover menos del 5% en el tiempo de 4 h. Cuando se usaron las perlas de alginato con biomasa de lirio se obtuvieron porcentajes un poco más altos de remoción que van de un 4.2% al 10.7%. Estor resultados indican que la capacidad de remoción de As es baja a comparación de los resultados obtenidos con otros metales. Los adsorbentes naturales representan un bajo costo si están disponibles localmente y son accesibles para la población local. Son

considerados una solución emergente para poblaciones, comparado con el de los materiales sintéticos, los cuales constituyen muchas veces la única opción (Bundschuh et al., 2010). En este proyecto se trabajó con lirio acuático *E. crassipes* la invasión de este en cuerpos de agua dulce presenta un problema para muchas actividades humanas, como son el acceso a la navegación y la recreación, daños a los sistemas de tuberías para la agricultura, la industria y el abastecimiento de agua municipal, entre otros. (Katerregga & Sterner, 2009). Este adsorbente natural actualmente prolifera en algunos cuerpos de agua del estado de Guanajuato, por eso se buscó una alternativa para poder darle un uso y ayudar a disminuir su población, esto en base a diversos artículos donde se resalta su capacidad para remover metales pesados y metaloides. En estudios se ha reportado que el lirio puede contener arsenico desde un inicio, la concentración más alta de arsenico que se ha reportado es de .155 mg/L, por eso es importante que este sea evaluado antes de su uso para evaluar la concentración del metaloide para asi poder evitar alguna interferencia al momento de realizar la remoción del metal y que los resultados se vean alterados (Castañeda,2016). Una de las razones por las cuales el porcentaje de remoción de arsenico fue bajo es porque probablemente la biomasa ya contenia alguna concentración de este metaloide y por eso en las fibras la remoción fue menos del 5% en el tiempo de cuatro horas, mientras que la biomasa modificada en forma de perlas de alginato tuvo un mejor resultado. En otro estudio *E. crassipes* presento una tasa de remoción de 600 mg As/ha un a recuperación de remoción de 18%, la eficiencia del lirio acuatico fue debido a la producción de biomasa, indicando que esta especie es una alternativa confiable para la biorremediación de arsénico en aguas (Alvarado, 2018). Mientras que en los reportes donde se remueve arsenico con biomasa modificada se obtienen porcentajes de remoción más elevados pues en estos casos la tasa de biosorción tienden a aumentar con el aumento del tiempo de contacto y la dosis del adsorbente. (Liu, 2009). Se ha encontrado que las interacciones proteína/aminoácido-arsénico juegan un papel importante en el proceso de biosorción usando SMOS de biomasa vegetal.(Kumari, 2005).Por esta razón resulto más efectivo el uso de las perlas de alginato para la remoción de Arsénico que el uso de las fibras lignocelulosicas.

Conclusión

El porcentaje de remoción para arsénico fue no factible con las fibras lignocelulósicas; mientras que las perlas de alginato presentaron un porcentaje un poco más elevado Este trabajo contribuye para la búsqueda de diseños o biomasa lignocelulósica modificada para llevar acabo técnicas asequibles dentro de los problemas que actualmente existen en nuestros cuerpos de agua debido a los metales pesados y ayudaría a disminuir el problema con la proliferación del lirio acuático pues se estaría reutilizando.

Agradecimientos

Los autores agradecen al comité organizador del Verano de la Ciencia UG en su edición XXVIII, 2023 y a las autoridades de nuestra *Alma mater*, la Universidad de Guanajuato.

Referencias

- Cooney D.O. (1999). Adsorption Design for Wastewater Treatment, CRS Press LLC, USA.
- Contreras Pérez, J. B., Mendoza Gómez, C. L., & Gómez, A. (2004). Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina. *Ciencia y sociedad*. <http://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/handle/123456789/1055>
- Cartaya, O., Reynaldo, I., & Peniche, C. (2008). Cinética de adsorción de iones cobre (II) por una mezcla de oligogalacturonidos. *Rev. Iberoam. Polimeros*, 9(5), 473-479.
- Ochoa Reyes, J., Vidal Lozano, A., Lerma Santana, A., Gómez Reza, L., Reta Sánchez, A., Fernández Escajeda, D., ... & Orozco Domínguez, L. R. (2009). Arsenicismo subagudo y crónico. Estudio retrospectivo en 44 pacientes. *Dermatología (México, DF)*, 53(4), 63-69.
- González Rodríguez, B. (2016). Determinación de arsénico y plomo en agua de pozos y estimación de riesgo en salud en una población del municipio de San Diego de la Unión, Guanajuato. *REPOSITORIO NACIONAL CONACYT*. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/4109>
- Patra, M., Bhowmik, N., Bandopadhyay, B. and Sharma, A. (2004). Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*. 52(3): 199-223. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.02.009>
- Nagy, M.L., Johansen, J.R., Clair, L.L. and Webb, B.L. (2005). Recovery patterns of microbiotic soil crusts 70 years after arsenic contamination. *Journal of Arid Environments*. 63:304-323. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.029>
- Marin, A. (2010). Arsenic removal in solution using non living bio masses of aquatic weed; Remoción de As en solución empleando biomasa no vivas de maleza acuática.
- Kratochvil, D., and Volesky, B. (1998). Biosorption of Cu from ferruginous wastewater by algal biomass. *Water Research*, 32(9): 2760-2788. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00015-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00015-3)
- Obelholser, K. and McGarrity, J. (1992). Interaction of metals and protons with algae. *Marine algae, with emphasis on lead and aluminum*. *Environmental Science and Technology*. 26(3): 496-502:
- Anudechakul, C., Vangnai, A., & Ariyakanon, N. (2015). Removal of chlorpyrifos by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and the role of a plant-associated bacterium. *International Journal of Phytoremediation*, 17(7), 678–685. <https://doi.org/10.1080/15226514.2014.964838>
- Uday, U. S. P., Choudhury, P., Bandyopadhyay, T. K., & Bhunia, B. (2016). Classification, mode of action and production strategy of xylanase and its application for biofuel production from water hyacinth. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 1041–1054. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.086>
- Mukhopadhyay, R., Rosen, B. P., Phung, L. T., & Silver, S. (2002). Microbial arsenic: from geocycles to genes and enzymes. *FEMS microbiology reviews*, 26(3), 311-325. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2002.tb00617.x>
- WHO (World Health Organization). 2003. Arsenic in drinking-water. Guidelines for drinking-water quality Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/ 75). Geneva, Switzerland. (Consulta: abril 12, 2014).
- Maine, M. A., Duarte, M. V., & Suñé, N. L. (2001). Cadmium uptake by floating macrophytes. *Water research*, 35(11), 2629-2634.
- Bundschuh, J., Litter, M. I., Parvez, F., Román-Ross, G., Nicolli, H. B., Jean, J.-S., ... Toujaguez, R. (2012). One century of arsenic exposure in Latin America: a review of history and occurrence from 14 countries. *The Science of the Total Environment*, 429: 2–35. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.06.024
- Kateregga, E., & Sterner, T. (2009). Las poblaciones de peces del lago Victoria y los efectos del Jacinto de agua. *The Journal of Environment & Development*, 18(1), 62–78. <https://doi.org/10.1177/1070496508329467>
- Castañeda Antonio, M. D., Conde Reyes, A., Martínez Carrera, D., Portillo Reyes, R., Muñoz Rojas, J., Munguía Pérez, R., & Rivera Tapia, A. (2016). Viabilidad del uso de *Eichhornia Crassipes* como sustrato de cultivo de setas. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/17947>
- Alvarado, S., Guédez, M., Lué-Merú, M. P., Nelson, G., Alvaro, A., Jesús, A. C., & Gyula, Z. (2008). Arsenic removal from waters by bioremediation with the aquatic plants Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Lesser Duckweed (*Lemna minor*). *Bioresource technology*, 99(17), 8436-8440. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.051>
- Liu, Z., & Zhang, F. S. (2009). Removal of lead from water using biochars prepared from hydrothermal liquefaction of biomass. *Journal of hazardous materials*, 167(1-3), 933-939. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.008>
- Kumari, P., Sharma, P., Srivastava, S., & Srivastava, M. M. (2005). Arsenic removal from the aqueous system using plant biomass: a bioremediation approach. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 32(11-12), 521-526. <https://doi.org/10.1007/s10295-005-0042-7>