

Determinación de la capacidad de remoción de cromo en medios acuosos por biomasa lignocelulósica proveniente del jacinto de agua.

Determination of chromium removal capacity in aqueous media by lignocellulosic biomass from water hyacinth.

Lian Ximena García Acosta¹, Alma H. Serafin Muñoz¹, Hugo López Alvarado¹, José Ignacio Ceseña Quiñóñez¹.

¹División de Ingenierías del Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.
lx.garciaacosta@ugto.mx¹, sermuah@ugto.mx¹

Resumen

El lirio acuático o jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) ha demostrado tener un rápido crecimiento, llegando a ser invasivo, provocando desequilibrios en los ecosistemas en los que prospera, tales como la eutrofización. El presente trabajo se llevó a cabo el estudio de remoción para eliminar cromo de aguas contaminadas utilizando material lignocelulósico seco proveniente de lirio acuático. Se puso a prueba la factibilidad de remoción de este metal pesado en dos presentaciones de biomasa, fibras y perlas de alginato, a través de soluciones con tres distintas concentraciones de cromo (0.01 ppm, 0.5 ppm, 1ppm) incrementando los tiempos de contacto biomasa-solución (1 hora, 2 horas, 4 horas). Los resultados demostraron que las perlas de alginato presentaron un porcentaje de remoción de cromo altamente eficiente del $98.49 \pm 0.88\%$, mientras que para las fibras fue del $81.2 \pm 4.07\%$. Este trabajo contribuye dentro de las perspectivas futuras para el desarrollo de tecnologías asequibles y en el campo de la fitorremediación dentro del tratamiento de cuerpos de agua contaminados con metales.

Palabras clave: Biomasa, tratamiento de aguas, metales, *Eichhornia crassipes*, lirio acuático.

1. Introducción

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), pertenece a la familia Pontederiaceae (Patel, 2012), de agua dulce, originaria de la cuenca del Amazonas y naturalizada en los países tropicales y subtropicales de América del Sur (Gao & Li, 2004). Como especie invasora presenta múltiples peligros ecológicos, económicos, hasta los sociales (Patel, 2012). Su reproducción vegetativa y rápida tasa de crecimiento (Havel et al., 2015), provoca que impacte el flujo de agua, bloquee la luz solar y evite que llegue a las plantas acuáticas nativas, lo que conlleva a una disminución del oxígeno, alteración de la estructura y función del ecosistema e interrupción de la cadena alimentaria y el ciclo de nutrientes (Bhattacharya & Pawan, 2010; Khanna et al., 2011). Aunque también es una especie con alta capacidad adaptativa y reproductiva (Nesslage et al., 2016). Su crecimiento acelerado contribuye al fenómeno de eutrofización de los cuerpos de agua (Gaertner et al., 2016). El lirio puede tolerar amplias variaciones en la concentración de nutrientes, en la temperatura y en los niveles de pH. El pH óptimo para su desarrollo se encuentra entre 6 y 8; su desarrollo óptimo se encuentra entre 25 y 27.5 °C (Malik, 2007). Sin embargo, esta maleza es considerada

un recurso de inmenso potencial. La enorme biomasa se ha empleado en el tratamiento de aguas residuales, la remediación de metales pesados, etc. (Patel, 2012). El lirio acuático tiene altas tasas de eliminación de diversos colorantes y metales pesados como: hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), cromo (Cr), cadmio (Cd), manganeso (Mn), mercurio (Hg) y arsénico (As) (Sanmuga-Priya & Senthamil-Selvan, 2017).

Los desechos líquidos industriales que contienen iones de metales pesados tales como plata, mercurio, cromo, etc., provocan la contaminación de las aguas superficiales sobre las que se vierten. Los elevados niveles de metales pesados exterminan muchos de los organismos presentes en las aguas y conducen al establecimiento de un ambiente extremo, es decir con una muy baja diversidad de especies (Brock, 1969). Los organismos sobrevivientes pueden quedar afectados de muy diversas maneras y en algunos casos se ha comprobado que acumulan grandes cantidades de metales pesados (Whitton, 1975). Uno de estos metales pesados es el Cromo, que se encuentra en la naturaleza en varias combinaciones con otras sustancias. Está distribuido por toda la corteza terrestre, pero presenta una concentración mayor en las rocas básicas, de donde es extraído para su utilización en diversas actividades industriales. Puede presentarse en la forma iónica con valencia II, III ó VI. Las más importantes en cuanto a sus efectos sobre la salud humana, son la trivalente (III) y la hexavalente (VI). La forma trivalente es una forma esencial para el metabolismo humano, el cromo hexavalente es tóxico. Las industrias que presentan mayor riesgo por la presencia de cromo, según su rama o tipo, son las de: Cemento, colorantes, curtidurías, galvanoplastia, material fotográfico, material refractario, metalurgia, pinturas principalmente anticorrosivas. Por la baja solubilidad del cromo, los niveles de este metal en las aguas son bajos (Galvao & Corey, 1987). En México el límite permisible de Cromo total que se refiere a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos es de 0.05 mg/L.

El lirio (*E. crassipes*) tiene un extenso sistema radicular que muestra preferencia por la absorción de sustancias nutritivas a la planta, es capaz también de absorber otros constituyentes de aguas residuales urbanas e industriales, entre ellas, iones de metales pesados (Wolverton et al. 1979, Wolverton 1975). En el estudio de Rodríguez M. y Rodríguez U. (1984) se estudió la capacidad del lirio acuático para absorber cromo y eliminarlo de las aguas, se demostró que el lirio es eficaz en la remoción de cromo en medios acuosos, donde la planta logró extraer rápidamente cromo, concentrándolo en un 99% en las raíces.

En el presente trabajo se estudió la factibilidad de remoción del material lignocelulósico frente a cromo mediante un modelo de perlas de alginato, así como lirio, previamente lavado y triturado, analizando esta eficacia respecto a distintos tiempos de contacto y distintas concentraciones.

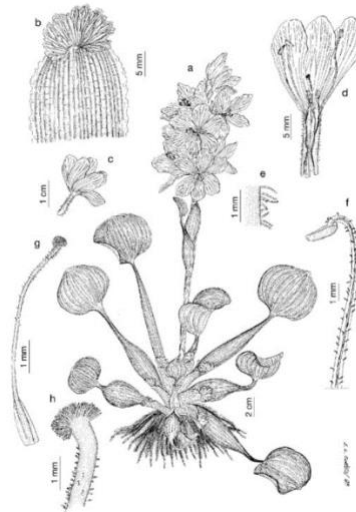


Figura 1. Lám 92.-*Eichhornia crassipes*, a) Navalmoral de la Mata, Cáceres (SALA 102765); b-h) junto a San Roque, río Algar, Altea, Alicante (MA 657843): a) hábito; b) estípula con la lígula; c) flor; d) flor abierta; e) indumento del tubo corolino; f) porción apical de un estambre; g) gineceo; h) parte superior del estilo y estigma.

2. Metodología

1. Pretratamiento de biomasa

El lirio acuático utilizado fue recolectado en la presa de San Miguel Allende, Guanajuato, México. El lirio se colocó en un vaso de precipitado de 1L, se lavó con agua corriente en aproximadamente veinte repeticiones, posteriormente se vació al matraz peróxido de hidrógeno al 20% y así permaneció durante 24 horas, a que pasó este tiempo se filtró la biomasa. Este producto se colocó de forma extendida a una lámina de papel aluminio en la que se introdujo a la estufa a una temperatura de 50 °C durante 48 horas. La biomasa seca se trituró y se tamizó con un tamiz No. 20, esta biomasa se almacena para su uso posterior.

2. Formación de perlas de Alginato

Se pesó 5.512 g de CaCl_2 y se aforó a 75 mL con agua destilada en matraz Erlenmeyer y se agitó en una velocidad No. 6 por unos minutos, en otro matraz se colocaron 100 mL de agua destilada, a una temperatura entre 60 °C a 80 °C se agregó lentamente en pocas cantidades, 2.5 g de alginato mientras se agitó a una velocidad No. 6. Una vez se adicionó todo el alginato y se mezcló homogéneamente, se midió en probeta que cantidad había en total y respecto a esta medida se adicionó al matraz con alginato 0.05 mg de biomasa triturada por cada mL de alginato, la biomasa se tamizó estático en malla No. 20, en total se agregó 5.75 mg de biomasa lentamente, en pocas cantidades, se mantuvo la velocidad de agitación y temperatura. En un refractario se agregó la solución con CaCl_2 y con ayuda de pipeta Pasteur se tomó la mezcla de alginato-biomasa, posteriormente sobre el

refractario se colocó gota a gota esta mezcla, lo que demostró la formación de perlas. Una vez se formó la cantidad de perlas permitida, se colocó una a una sobre papel para su posterior secado a temperatura ambiente, el resultado se almacenó en tubo de 50 mL. Se pesó una cantidad de veinte perlas de distintos tamaños en balanza gravimétrica y se calculó la media aritmética de esos pesos.

3. Lavado de lirio en equipo Soxhlet

Se realizó un lavado de equipo Soxhlet con agua corriente y jabón, posteriormente se enjuagó con agua desionizada y permaneció en ácido nítrico al 10% durante 24 horas. De la biomasa triturada se pesó una cantidad de 3 g que se introdujo a un sobre elaborado con papel filtro que se colocó en el extractor. Se concluyeron un total de 3 ciclos con apoyo de un sistema de recirculación y enfriamiento, cuyo Modelo es LAUDA ALPHA RA12; durante la extracción y limpieza se usó parrilla con una temperatura de 180 °C. Al finalizar, la biomasa que se encuentra en el sobre se movió a una caja Petri en la que se introdujo a la estufa y permaneció a una temperatura de 50 °C. Al solvente sobrante se tomó prueba de pH.

4. Caracterización de material lignocelulósico

Se pesó en balanza analítica una cantidad de 10 perlas de alginato a las que previamente se les midió su diámetro con calibrador digital Vernier. Se depositaron las perlas en matraz Erlenmeyer de 10 mL y se le adicionó 5 mL de agua desionizada, posterior a 15 minutos se retiró el agua del matraz y se pesaron las perlas. Se obtuvo entonces un peso en seco y peso en húmedo de las diez perlas de alginato. Posteriormente se colocó la muestra de las perlas, después de que permanecieron en agua y se les colocó en un vidrio de reloj, sobre el que se observó la morfología de las perlas mediante microscopio estereoscópico. Respecto a las muestras del lirio se tomó biomasa que se tenía en almacenamiento que fue previamente lavada con equipo Soxhlet, de igual manera sobre un vidrio de reloj se observó de forma amplia el lirio a través de microscopio estereoscópico.

5. Tiempos de contacto cromo-biomasa

Se elaboró una solución estándar de 25 mg/L con una concentración de 10 ppm a partir del patrón de Cromo de 1000 ppm. Se calcularon las cantidades necesarias de este estándar para elaborar tres soluciones de 150 mL con las siguientes concentraciones: 0.01 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm. Se llevaron a cabo diferentes tiempos de contacto, los cuales fueron: $t_1=1$ hora, $t_2=2$ horas, $t_3=4$ horas. Se realizaron corridas por duplicado, así como un tubo control por cada concentración. Se pesaron 0.015 g de lirio previamente lavado con equipo Soxhlet y secado en la estufa, por otro lado, se pesó una perla de alginato por cada tubo requerido para las tres corridas. Con apoyo de una pipeta se colocó una cantidad de 10 mL de las soluciones con cromo a cada uno de los tubos pertenecientes al tiempo 1 y se ingresaron al rotor Modelo RKVSD durante una hora. Al concluir este tiempo se instaló un soporte universal en conjunto con un anillo de hierro en el que se situó papel filtro para el filtrado de cada una de las muestras. La biomasa se colocó en el tubo original y el contenido líquido filtrado se destinó a un tubo Falcon limpio. Este proceso se repitió con el tiempo de contacto t_2 y t_3 .

La biomasa sin líquido, tanto perlas como lirio se ingresaron a tubo abierto a la estufa a una temperatura de 50 °C hasta que no se encontraron rastros de humedad. Posteriormente se pesó esta biomasa mediante balanza analítica. Por último, se elaboró nuevamente una solución estándar de 25 mg/L con una concentración de 10 ppm a partir del patrón de Cromo de 1000 ppm para hacer cuatro soluciones de 50 mL cada una con ayuda de matraz aforado, con las siguientes concentraciones: 0.001 ppm, 0.1 ppm, 1 ppm, 2 ppm. A continuación, se usó una pipeta y se tomaron 10 mL de cada una de las soluciones y se colocaron en tubos Falcon de 15 mL por triplicado, con estos se elaboró la curva de calibración. Por último, se midió la concentración de cromo por cada tubo Falcon en el equipo de absorción atómica PinAAcle 900, Modelo 900f, los tubos medidos fueron los que contenían los duplicados filtrados, así como los tubos control pertenecientes a cada una de las tres concentraciones, esto por cada tiempo de contacto.

Diagrama



Figura 2. Diagrama explicativo sobre metodología. Fuente: Autor.

3. Resultados y discusión

Caracterización de material lignocelulósico

En la Figura 3 se observan las imágenes obtenidas a través del uso del microscopio estereoscópico respecto a la caracterización del material lignocelulósico. En la fotografía superior izquierda se observa una de las perlas de alginato de la cual destaca una forma esférica que fue lo que se buscaba en un inicio, de igual manera como se encuentra compacto el lirio y la imagen superior derecha, la fotografía en 3D muestra que son los bordes de la perla son uniformes lo que favorece su forma. Respecto al lirio, en la imagen inferior izquierda se ven las fibras de la biomasa, las cuales varían en tamaño y forma y esto lo confirman los surcos que se aprecian en la imagen superior derecha que representa la fotografía en 3D.



Figura 3. Imágenes observadas a través de microscopio estereoscópico. Fuente: Autor.

La Tabla 1 muestra los parámetros estadísticos medidos de acuerdo con el análisis de datos respecto a los pesos de las perlas de alginato antes de ser usadas para las pruebas en los distintos tiempos de contacto, el promedio de los pesos es de 0.01468 g. La Tabla 2 presenta los resultados del análisis de datos en relación con los diámetros de diez perlas de alginato en presentación en seco, obtenidos con calibrador digital Vernier, el promedio de los diámetros es de 2.837 mm. En la Tabla 3 se interpreta la densidad unitaria de todas las perlas y la densidad individual de cada unidad.

Tabla 1. Análisis estadístico de pesos de perlas de alginato.

Análisis de datos de peso de perlas alginato en seco	
Parámetro estadístico	Valor
Media	0.014688889
Error típico	0.000763415
Mediana	0.0153
Moda	#N/D
Desviación estándar	0.003238898
Varianza de la muestra	1.04905E-05
Curtosis	-0.775996665
Coefficiente de asimetría	-0.203797487
Rango	0.0113
Mínimo	0.0094
Máximo	0.0207
Suma	0.2644
Cuenta	18
Nivel de confianza (95.0%)	0.001610666

Tabla 2. Análisis estadístico de diámetro de perlas de alginato.

Análisis de datos de diámetro de perlas alginato en seco	
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
Nivel de confianza (95.0%)	0.189747211

Tabla 3. Densidades unitarias de perlas de alginato.

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

Capacidad de remoción del Cromo

Para la interpretación del porcentaje de remoción de cromo obtenido a través del material lignocelulósico ya sean en el prototipo de perlas de alginato o fibras se realizó anticipadamente al análisis una curva de calibración a través del equipo de absorción atómica PinAAcle 900 Modelo 900f, a través de la cual se obtuvo un valor de $R^2 = 0.9999$, que da validez a la efectividad de los resultados. La efectividad de remoción de cromo del material lignocelulósico en presentación de fibras de lirio es representada en la Figura 5. Como se observa, la concentración de 1 mg/L es en la que hubo un mayor porcentaje de remoción de cromo, obteniendo $81.2 \pm 4.07\%$; respecto a la concentración de 0.01 mg/L se consiguió el $71.71 \pm 18.42\%$; por último, la concentración de 0.5 mg/L reportó $71.2 \pm 20.14\%$. En cuanto a tiempos de contacto, el Tiempo 3 (4 horas) efectuó una mayor remoción en las tres distintas concentraciones obteniendo un promedio de $83.87 \pm 0.23\%$.

Interpretando los resultados señalados en la Figura 6, que indican los porcentajes de remoción de material lignocelulósico en presentación de perlas de alginato con fibra de lirio frente a cromo. Se demuestra que la concentración de 0.01 mg/L es en la que hubo un mayor porcentaje de remoción de cromo, consiguiendo $70.3 \pm 30.36\%$; respecto a la solución con la concentración de 0.5 mg/L se alcanzó $63.27 \pm 35.68\%$; por último, la concentración de 1 mg/L en la que hubo menor remoción el resultado fue de $61.23 \pm 37.8\%$. Por otro lado, en los tiempos de contacto, en el Tiempo 3 (4 horas) se llevó a cabo una mayor remoción en las tres distintas concentraciones con un promedio de $98.49 \pm 0.21\%$.

Es reconocido por diversos autores el hecho de que el jacinto de agua (*E. crassipes*) es una planta cuyas características de supervivencia y rápido crecimiento la pueden considerar una maleza por los distintos conflictos sobre todo ecológicos que puede llegar a causar, en este sentido, se puede considerar a la biorremediación como una tecnología factible debido a que contribuiría a controlar y aprovechar esta biomasa para contrarrestar problemas en sitios contaminados. R. Aggarwal et al. (2020) y D. Hemalatha et al. (2021).

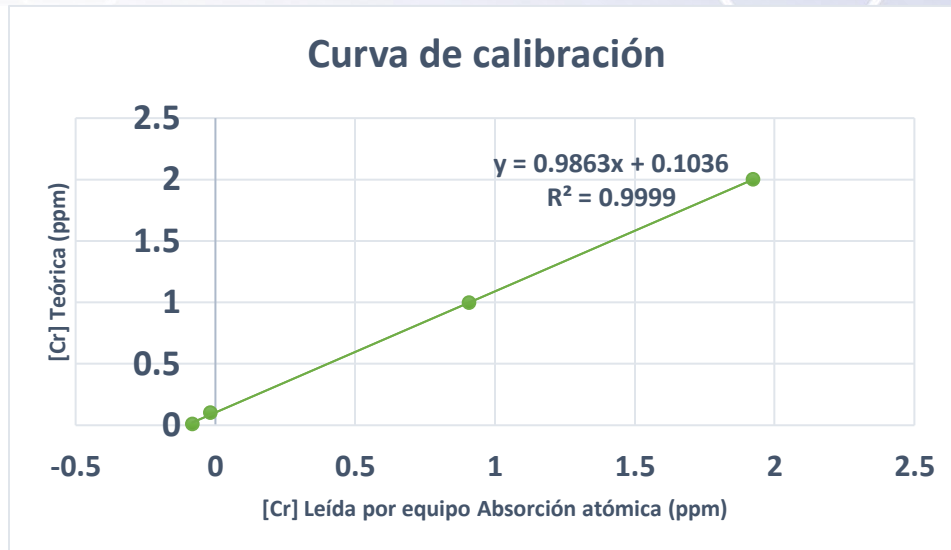


Figura 4. Curva de calibración de Cromo en el rango de concentraciones de 0.01, 0.1, 1 y 2 mg/L. Empleando el equipo de absorción atómica PinAAcle 900, Modelo 900f. Fuente: Autor.

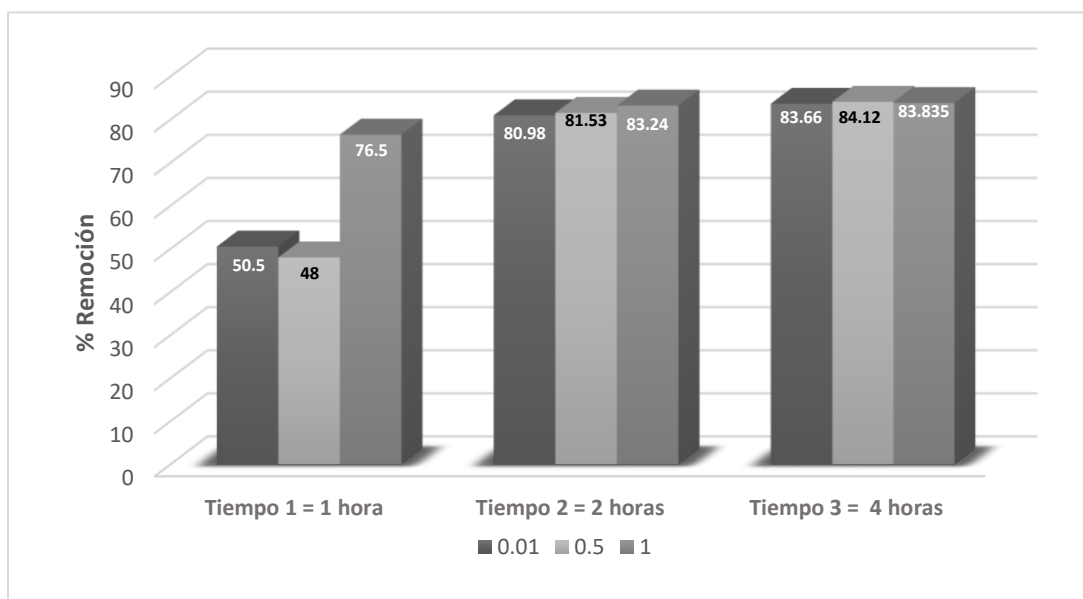


Figura 5. Gráfico de porcentaje de remoción de material lignocelulósico en presentación de fibras de lirio frente a cromo.

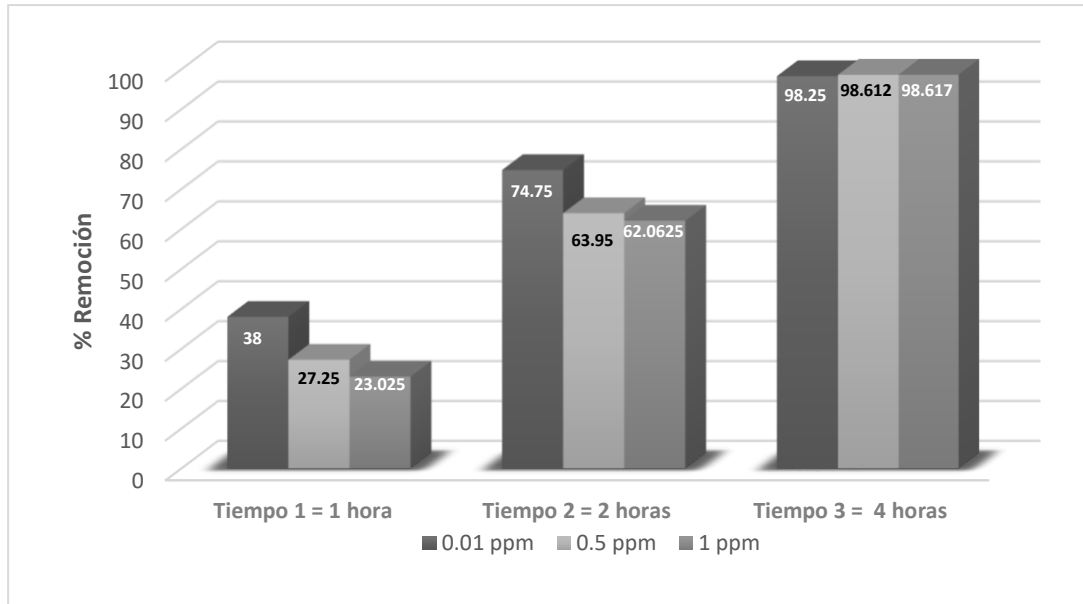


Figura 6. Gráfico de porcentaje de remoción del material lignocelulósico en presentación de perlas de alginato con lirio frente a cromo.

De este modo, se opta por el uso de biomasa seca no viva que se ha demostrado ser capaz de eliminar metales pesados de acuerdo con Ivoandrea et al. (1999), así como la notable disminución de costos que a su vez acaba con la proliferación de la biomasa y con los derivados problemas a la salud. A través del desarrollo del presente estudio se lograron producir con éxito dos presentaciones de material con capacidad para reducir las concentraciones de cromo. En contraste con otros estudios, respecto al pretratamiento de la biomasa, se añade al lavado con agua corriente el que conlleva peróxido de hidrógeno lo que asegura la eliminación de microorganismos y otras impurezas que puedan afectar los resultados, así mismo en el secado de la biomasa se acelera el proceso enfatizando en el uso de la estufa ya que acelera el proceso en comparación al secado al sol durante varios días. A través de los resultados presentados se interpreta que se favoreció la remoción de cromo en ambas presentaciones de material lignocelulósico, tanto en fibras como en perlas de alginato; aunque las fibras demuestran un porcentaje un tanto similar se puede observar que a pesar de duplicar el tiempo de contacto no se obtuvo un aumento significativo del porcentaje de remoción, como promedio máximo $83.87 \pm 0.23\%$ de remoción de cromo. Por otro lado, las perlas de alginato con fibra mostraron un incremento constante al tiempo de contacto en la eficacia de remoción de cromo consiguiendo un promedio máximo de remoción del $98.49 \pm 0.21\%$, resultado cercano al total, tomando en cuenta que se usó una sola unidad de perla por cada tubo Falcon se consiguió una respuesta favorable. Nuestro trabajo concuerda con lo dicho por otros autores que obtuvieron adsorciones favorables alcanzando incluso 98.9% de eliminación de cromo.

4. Conclusiones

En este trabajo se enfatizó en la propuesta de nuevas presentaciones de la biomasa seca de lirio acuático (*E. crassipes*) para la biorremediación de aguas contaminadas con cromo, las cuales fueron fibras y perlas de alginato, demostrando resultados competitivos ante la eficacia de remoción de cromo en comparación con investigaciones de otros autores que han trabajado con material lignocelulósico. Ambas son propuestas asequibles para la biorremediación de aguas contaminadas por metales pesados y aunado al uso de lirio acuático se contrarrestan los efectos negativos de este puede causar al medio ambiente.

Referencias

- Patel, S. (2012). Threats, management and envisaged utilizations of aquatic weed *Eichhornia crassipes*: an overview. *Reviews Environment Science of Biotechnology*, 11, 249–259. <https://doi.org/10.1007/s11157-012-9289-4>
- Gao, L., & Li, B. (2004). The study of a specious invasive plant, water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): Achievements and challenges. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 28(6), 735–752. <https://doi.org/10.17521/cjpe.2004.0097>
- Havel, J. E., Kovalenko, K. E., Thomaz, S. M., Amalfitano, S., & Kats, L. B. (2015). Aquatic invasive species: challenges for the future. *Hydrobiologia*, 750, 147–170. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2166-0>
- Bhattacharya, A., & Pawan, K. (2010). Water hyacinth as a potential biofuel crop. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 9(1), 112–122. https://www.researchgate.net/publication/228363916_Water_hyacinth_as_a_potential_biofuel_crop
- Nesslage, G. M., Wainger, L. A., Harms, N. E., & Cofrancesco, A. F. (2016). Quantifying the population response of invasive water hyacinth, *Eichhornia crassipes*, to biological control and winter weather in Louisiana, USA. *Biological Invasions*, 18(7), 2107–2115. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1155-9>
- Gaertner, M., Larson, B. M. H., Irlich, U. M., Holmes, P. M., Stafford, L., Van Wilgen, B., & Richardson, D. (2016). Managing invasive species in cities: A framework from Cape Town, South Africa. *Landscape and Urban Planning*, 151, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.03.010>
- Malik, A. (2007). Environmental challenge vis a vis opportunity: the case of water hyacinth. *Environment International*, 33(1), 122–138. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.08.004>
- Sanmuga-Priya, E., & Senthamil Selvan, P. (2017). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)- An efficient and economic adsorbent for textile effluent treatment- A review. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(2), 3548–3558. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.03.002>
- Brock, T. D. *Microbial growth under extreme conditions*, En Meadow, P.M. y Pirt, S. J. *Microbial Growth*, 17th Symposium Soc. seg. Microbiol. London: Cambridge University Press, 1969. P. 15-41
- Whitton, B. A. (editor). *River Ecology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1975.
- Wolverton, B.C., Barlow, R.M., Mac Donald, R.C. *NASA Technical Memorandum TMX.72726*, 199.
- Wolverton, B.C. *NASA Technical Memorandum tmx-72721*, 1975.
- Wolverton B.C. Mac Donald, R.C. *NASA Technical Memorandum TMX-72721*, 1975.
- Galvao, L. A., & Corey, G. (1987). *Cromo. Serie Vigilancia*; 5.
- Flora Vascular - Toda la información detallada sobre la Flora Vascular | - Especie: *Eichhornia crassipes* | BioScripts.net. (n.d.). https://www.floravascular.com/index.php?spp=Eichhornia_crassipes
- Alvarez, S.G., Maldonado, M, Gerth, A, & Kusch, P. (2004). Caracterización de Agua Residual de Curtiduría y Estudio del Lirio Acuático en la Recuperación de Cromo. *Información tecnológica*, 15(3), 75-80. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642004000300012>

- Rodríguez-M, L., & Rodríguez-U, A. (2019). Uso del jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) para la depuración de aguas contaminadas con cromo. *Revista Tecnología En Marcha*, 7(1), Pág 19–23. Recuperado a partir de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4186
- Lara, J. W. R., Cervantes, F., Arámbula-Villa, G., Amaro, L. A. M., Mancilla, C. L. A., & Enríquez, E. A. (2022). Lirio acuático (*Eichornia crassipes*): una revisión. *Agronomía Mesoamericana*, 33(1), 23.
- NOM-SSA1-127. Norma Oficial Mexicana. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. (2021)
- Aggarwal, R., & Arora, G. (2020). Assessment of biosorbents for chromium removal from aqueous media. *Materials Today: Proceedings*, 28, 1540-1545.
- Hemalatha, D., Narayanan, R. M., & Sanchitha, S. (2021). Removal of Zinc and Chromium from industrial wastewater using water hyacinth (*E. crassipes*) petiole, leaves and root powder: Equilibrium study. *Materials Today: Proceedings*, 43, 1834-1838.
- Mohanty, K., Jha, M., Meikap, B. C., & Biswas, M. N. (2006). Biosorption of Cr (VI) from aqueous solutions by *Eichornia crassipes*. *Chemical engineering journal*, 117(1), 71-77.
- Ivoandreäh. Schneider, Jorgerubio, "Sorption of Heavy Metal Ions by the Nonliving Biomass of Freshwater Macrophytes", *Environ. Sci. Technol.*, 1999, 33, 2213-2217.