

Lirio acuático como material adsorbente de azul de metileno en solución acuosa

Omar Augusto Sánchez-Ortiz, Veronica Janette Cedeño-Garcidueñas *, Claudia Palomares-Rodríguez, Guillermo Andrade-Espinosa, Miriam Yolotzin Camacho-Zacarias, José Joel Zamudio-Hernández

Laboratorio de Ciencias Ambientales, Departamento de Ingenierías, Tecnológico Nacional de México/ IT del Valle de Morelia, Morelia, Michoacán, México

* Autor de correspondencia: veronica.cg@vmorelia.tecnm.mx

Artículo de divulgación científica

Recibido: 27 de septiembre de 2024

Aceptado: 7 de noviembre de 2025

Publicado: 31 de diciembre de 2024

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v3i1.224>

Resumen: El agua es uno de los recursos naturales más sobreexplotados, parte de su problemática es su contaminación por colorantes producto del teñido en la industria textil, aunado a ello los cuerpos de agua tienen presencia de plantas acuáticas como el Lirio debido a la alta concentración de nutrientes generando eutrofización, por ello este trabajo propone el uso del lirio acuático como bioadsorbente de colorantes presentes en agua. La metodología consistió en la recolección, lavado y secado de lirio acuático, sometiéndolo a un tratamiento químico en presencia de una solución de ácido maléico, con la finalidad de modificar sus propiedades como material adsorbente. Se realizaron cinéticas e isotermas de adsorción con el lirio acuático al natural y modificadas las cuales indican que el lirio acuático al natural presenta el 80% de remoción de azul de metileno en un tiempo de quince minutos, mientras que el lirio acuático modificado presenta el 56% de remoción de colorante en el mismo lapso, mostrando que este material funciona como bioadsorbente para la eliminación del colorante azul de metileno.

Palabras clave: Azul de metileno; adsorción; *Eichhornia crassipes*

Introducción

La aplicación de tecnologías ambientales representa una necesidad en la actualidad, el crecimiento poblacional ha demandado un mayor uso de los recursos naturales contaminando el medio ambiente, con ello se ha tenido que buscar alternativas para atender las problemáticas ambientales, actualmente se requiere de seguir generando ideas aplicadas y adecuadas a un desarrollo sostenible (Semarnat, 2016). Uno de los recursos más sobreexplotados por los seres humanos es el agua, recurso esencial para el desarrollo de la vida. El abastecimiento de agua y su saneamiento representan una parte crucial para la conservación de la salud y el bienestar de los habitantes en las localidades, entendiendo que la calidad del recurso hídrico es responsabilidad de todos los usuarios (Semarnat, 2016; ONU, 2020).

Uno de los grupos del sector industrial es la industria textil siendo una de las industrias que más recursos hídricos utiliza generando cantidades grandes de descarga de agua contaminada (Solís *et al.*, 2012; Wanyonyi *et al.*, 2013). De acuerdo con Solís *et al.* (2012), en el mundo, cada año se vierten aproximadamente 280.000 toneladas de tintes textiles en efluentes industriales aumentando considerablemente su uso año tras año. El color contenido en el agua derivado de los colorantes sintéticos además de tener posibles efectos tóxicos, es visiblemente desagradable (El-Khaiary, 2007). Entre los efectos adversos de los colorantes en el medio ambiente se encuentran el efecto inhibitorio en la fotosíntesis acuática, la capacidad para agotar el oxígeno disuelto y la toxicidad en la flora, fauna y salud de los humanos, entre otros. Por otro lado, también se ha encontrado que, si los colorantes se descomponen anaeróbicamente, se generan aminas aromáticas tóxicas, cancerígenas y mutagénicas. Por lo que la industria textil requiere la adopción de buenas prácticas ambientales, con desarrollo e inversiones en la implementación de sistemas innovadores para el tratamiento de colorantes como agente contaminante (Ramírez, 2023).

Otras causas de contaminación en el agua se deben al crecimiento excesivo de plantas acuáticas, sedimentos o material suspendido y el calor, generados por agentes patógenos, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas y nutrientes vegetales (Calderón *et al.*, 2008). Entre las plantas acuáticas que se encuentran en los cuerpos de agua y que pueden llegar a originar problemas ambientales está el Lirio acuático o Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), es una planta vascular flotante originaria del sur del continente americano, actualmente se encuentra abundantemente en lagos, lagunas, sistemas de canales de drenaje y alrededor de los campos de riego durante todo el año, considerada también como maleza acuática. La planta debido a su alta tasa de reproducción y su compleja estructura de raíces forma tejidos entrelazados invadiendo los cuerpos de agua en los cinco continentes. La especie tiene la capacidad de adaptarse a los climas de las regiones tropicales y subtropicales donde existe una gran concentración de nutrientes debido a diversos

factores tales como escorrentías agrícolas, la deforestación y el escaso tratamiento de las aguas residuales (Cerveira & Carvalho, 2019).

Hoy en día sigue siendo un gran reto el detener la invasión generalizada del Lirio Acuático en los cuerpos de agua, se han empleado diferentes estrategias como el control mecánico, control químico y control biológico. El control mecánico principalmente consiste en recolección y vertido, este método resulta costoso y principalmente presenta un problema de residuos sólidos. Se han realizado diversos trabajos de investigación para generar usos del residuo del Lirio Acuático como la generación de biogás, alimento para peces y alimento para animales, aunque aún no hay desarrollos a escala industrial (El-Khaiary, 2007). Entre las estrategias para el control del Lirio Acuático en los cuerpos de agua está el control mecánico que incluye la recolección de plantas y el corte *in situ*, no existen restricciones en el uso del agua asociadas con el control mecánico de la planta, además no requiere mucha experiencia técnica, el hacer un control mecánico proporciona de forma inmediata espacio físico para la pesca, el tráfico de embarcaciones y la recreación (Cerveira & Carvalho, 2019).

El estudio de las propiedades del Lirio Acuático como material adsorbente de colorantes y su inclusión dentro del proceso para el tratamiento de aguas residuales genera una alternativa potencial, debido a que se ha demostrado que los procesos de adsorción son eficientes debido a su flexibilidad, eficiencia, bajo costo y reversibilidad (Carneiro *et al.*, 2022), obteniendo un impacto positivo en los ecosistemas generando agua limpia de alta calidad, además el control de la expansión del Lirio Acuático en los cuerpos de agua.

Antecedentes del uso del Lirio Acuático como material bioadsorbente

El resultado de diversas investigaciones muestra la viabilidad del uso de materiales adsorbentes en soluciones acuosas para la remoción de contaminantes, tales como los carbones activados (Basheer, 2018; Borges *et al.*, 2016), nanoadsorbentes, arcillas y derivados celulósicos (Carneiro *et al.*, 2022). El uso de biomateriales como adsorbentes en el tratamiento de aguas resulta una propuesta prometedora por sus propiedades de adsorción, la disponibilidad de los materiales y la factibilidad económica (Carneiro *et al.*, 2022).

Peláez *et al.* (2016), mencionan en su investigación que es posible eliminar colorantes básicos, ácidos, insolubles en agua y reactivos presentes tanto en soluciones acuosas como en aguas residuales textiles utilizando adsorbentes preparados con la fibra de agave.

Se han probado diversos materiales biosorbentes, con gran capacidad para adsorber azul de metileno en soluciones acuosas, entre ellos se tiene la cáscara de arroz (312 mg/g), desperdicios de algodón (278 mg/g), lenteja de agua gigante (119 mg/g), cáscara de coco (99 mg/g), y raíz de jacinto de agua (128.9 mg/g). La funcionalización de los materiales a través de tratamientos ácido termales modifica sus propiedades superficiales, siendo una opción para la remoción de compuestos solubles en agua. El uso de estos residuos agrícolas tiene dos finalidades directas, una es mitigar el problema de eliminación de estos residuos y por otro lado está el transformar los residuos en material útil (El-Khaiary, 2007).

El lirio acuático ha sido utilizado en forma de polvo para la eliminación del colorante catiónico Rodamina B (Rh-B) presente en solución acuosa considerando variables como el pH de la solución, el tiempo de contacto, la concentración inicial del tinte y la temperatura, analizando la cinética de biosorción y el modelo de difusión intrapartículas y las isothermas de biosorción mediante modelos de Langmuir y Freundlich. Los resultados del trabajo mostraron que las capacidades máximas de adsorción de las raíces y las hojas fueron de 27,15 y 44,60 mg/g de eliminación de rodamina B, respectivamente (Saufi *et al.*, 2019).

Por otro lado, se ha comprobado la remoción de otros colorantes como el azul de metileno, haciendo uso de la biomasa del lirio acuático, con porcentajes de adsorción del 99 %, 97 % y 96 % usando las raíces, tallo y hojas respectivamente esto en los primeros 5 min de contacto y llegando al equilibrio a los 20 min. (Wanyonyi *et al.*, 2013).

Carneiro *et al.*, (2022) en su investigación tuvo como objetivo analizar la eficiencia de la eliminación de tintes textiles como el azul de metileno en soluciones acuosas mediante el proceso de adsorción, utilizando biomasa de lirio acuático

como bioadsorbente, los resultados obtenidos presentan una remoción del colorante de 90,8 % y 89,9 % para la biomasa de tallo y hoja, respectivamente, en un tiempo de hasta 60 min. La máxima adsorción se produjo a pH natural.

Por lo anterior, en este trabajo se propone realizar un estudio sobre la bioadsorción de azul de metileno presente en solución acuosa mediante el uso de los tallos del lirio Acuático variando la forma (polvo y rodajas) y funcionalizado el material en medio ácido para evaluar la eficiencia de remoción.

Desarrollo

Recolección y limpieza de Lirio acuático

La fase experimental de este trabajo se comienza con la recolección del lirio acuático en un canal de aguas negras que tiene como función regar los sembradíos en el municipio de Álvaro Obregón del estado de Michoacán, dónde se eligen plantas con un tamaño aproximado de 15 cm, aunado a ello la planta debe presentar una condición sana.

Una vez en el laboratorio, se realiza la limpieza de las plantas, se lavan con agua corriente y son colocadas al aire libre por tres días para su secado, descartando las raíces.

Después de este periodo, los tallos son separados de la planta y remojados por un periodo de cinco minutos en una solución de hipoclorito comercial al 5% v/v, transcurrido el tiempo se enjuaga el material tres veces con agua destilada, una vez lavados los tallos se colocan en la estufa a 60°C por 24 horas. Cabe señalar que el material es utilizado en dos formas distintas, la primera de ellas consiste en moler y generar un polvo, y la segunda es realizar cortes en forma de rodajas.

Material bioadsorbente modificado

El lirio acuático (LA) es un material que posee propiedades adsorbentes debido a la gran área superficial que presenta, sin embargo, para propiciar una mayor afinidad hacia algunos contaminantes el material se modifica químicamente a través de la funcionalización, con la finalidad de mejorar sus propiedades para el incremento de su rendimiento y que esto permita una mejor remoción de los contaminantes. Este tipo de proceso es muy simple y consiste en colocar el material natural en presencia de un ácido o una base, este ácido o base es elegido de acuerdo con las características químicas que se desean añadir a la superficie del material, ambas sustancias son sometidas a un reflujo durante un determinado tiempo y temperatura (Feizi & Jalali, 2015).

En este caso se colocan 20 g de rodajas de tallo limpios en 200 mL de una solución de ácido maleico 1.5N una vez que alcanza una temperatura de 70°C, y se somete a un reflujo constante por 3 horas. Al finalizar este tiempo se enfría a temperatura ambiente para posteriormente decantar y secar a una temperatura de 60°C. Cuando las rodajas están secas se lavan con agua destilada hasta lograr un pH de 6 para finalmente secar en la estufa a 60°C.

Cinética de adsorción del Lirio acuático natural (LA-SF) y Lirio acuático funcionalizado (LA-F)

Con la finalidad de conocer la remoción del colorante a través del tiempo, es necesario seguir su variación de concentración partiendo de un valor conocido, en este trabajo se utilizan 20 mL de una solución acuosa de azul de metileno a 10 ppm y 100 mg de LA-SF, ambos se ponen en contacto durante 60 minutos con agitación constante, tomando alícuotas cada 15 minutos, las muestras se leyeron en un espectrofotómetro UV-vis a 665 nm. Para el experimento con el LA-F el ensayo se lleva a cabo en 50 mL de solución acuosa de azul de metileno y 250 mg de LA-F, todos los experimentos se realizaron por triplicado.

Una vez realizadas las corridas experimentales, los datos fueron analizados y ajustados a la cinética de pseudo primer orden, tal como se muestra en la Figura 1 (a) y Figura 1 (b), para LA-SF y LA-F, respectivamente. De acuerdo con el ajuste para este pseudo primer orden de reacción, indica que el ajuste no es cercano a la unidad, de esta manera algunos datos quedan dentro del ajuste. Por otro lado, la cinética de pseudo segundo orden que se observa en la Figura 1 (c) y Figura 1 (d) para el LA-SF y LA-F, exhibe que su ajuste es mucho más cercano a la unidad, esto precisa que su tasa de adsorción esta influenciada por la interacción de los sitios disponibles en la superficie del material, lo cual puede

comprenderse que los sitios que se encuentran sobre la superficie del material tienen interacción estrecha con el colorante para que estos sitios puedan ser ocupados con el azul de metileno.

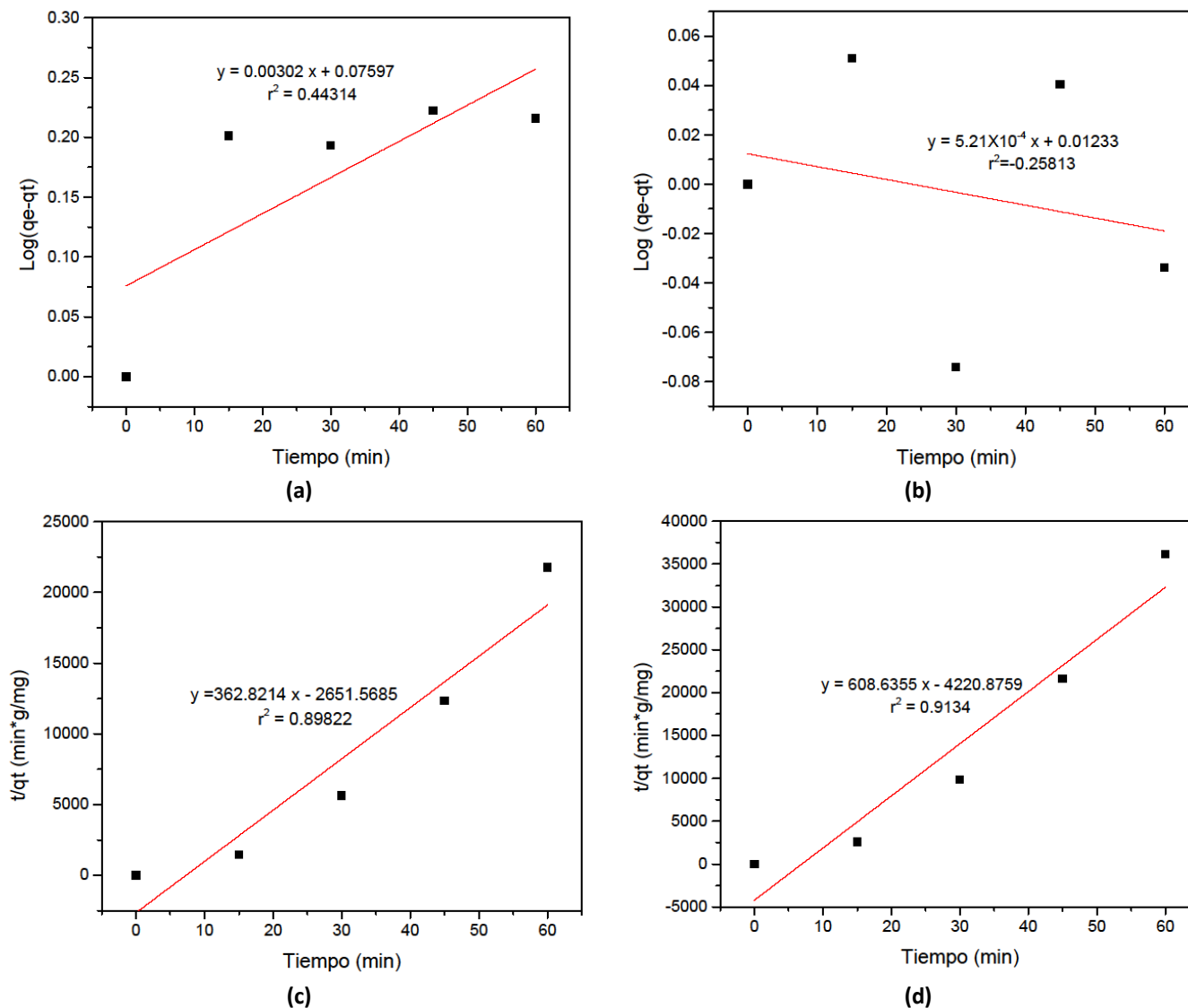


Figura 1. Cinética de adsorción (a) Pseudo Primer orden LA-SF; (b) Pseudo Primer Orden LA-F; (c) Pseudo Segundo Orden LA-SF; (d) Pseudo Segundo Orden LA-F

En la Figura 2 (a) y Figura 2 (b) se exhiben las isotermas de adsorción de Freundlich para LA-SF y LA-F, indicando que el ajuste a esta isoterma considera que la superficie es heterogénea, sin embargo, en la Figura 2 (c) y Figura 2 (d) para la isoterma de Langmuir, el ajuste que se muestra es cercano a la unidad, planteando la homogeneidad de la superficie.

Los porcentajes de remoción mostrados en la Figura 3, dónde el LA-SF logra un 80% de remoción de azul de metileno en tan solo 15 minutos, mientras que el LA-F solamente alcanza el 56% de remoción en este tiempo, además observamos que a los 60 minutos no existe diferencia significativa en la remoción de azul de metileno en el transcurso del tiempo, esto indica que la remoción se realiza durante los primeros 15 minutos y esto es congruente con el tipo de isoterma de adsorción, debido a que la adsorción no depende en este caso del tiempo, sino de la adsorción homogénea sobre la superficie de adsorbato.

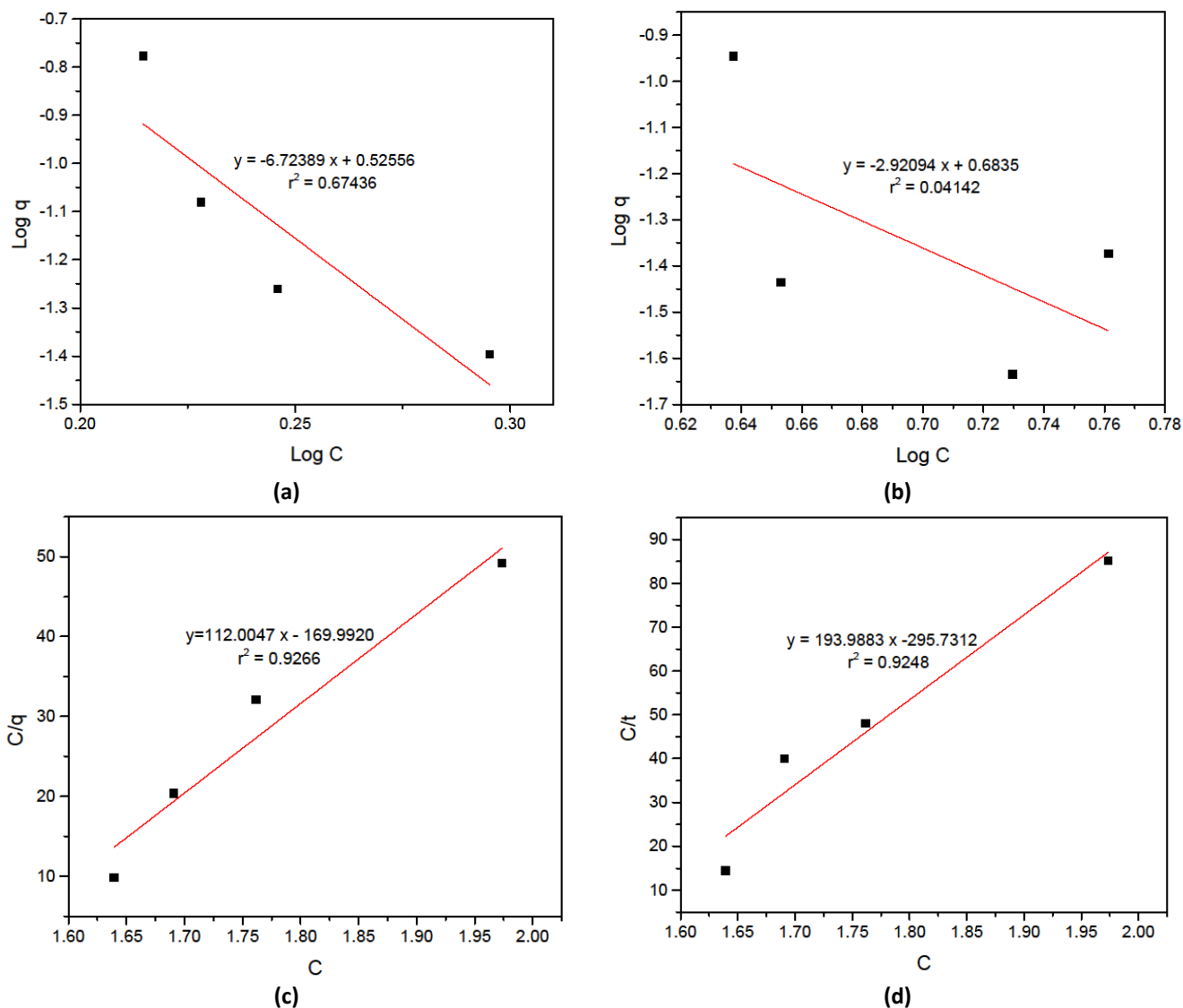


Figura 2. Isothermas de Adsorción (a) Freundlich LA-SF; (b) Freundlich LA-F; (c) Langmuir LA-SF; (d) Langmuir LA-F

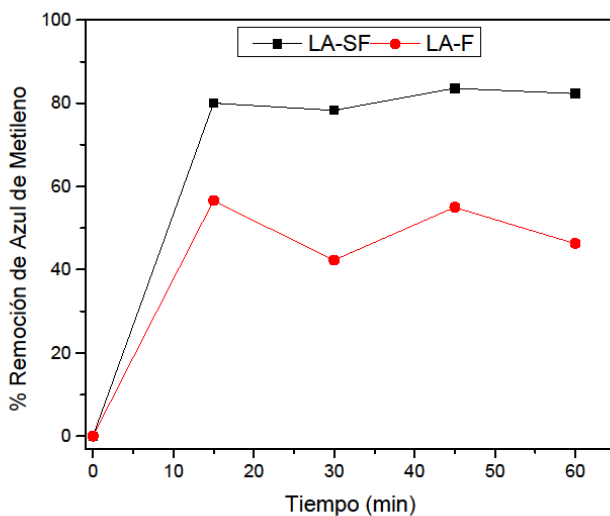


Figura 3. Porcentaje de Remoción de LA-SF y LA-F.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos se demuestra que Lirio Acuático es un material adsorbente viable para eliminación de azul de metileno en solución acuosa, teniendo un porcentaje de remoción de 80% en el LA-SF y 56% para el LA-F.

La adsorción alcanzó el 80% en tan solo 15 minutos con el LA-SF, sin embargo, los resultados con LA-F fueron de tan solo 56%, lo que indica que su funcionalización propicia que la superficie se encuentre más saturada.

La isoterma de Langmuir para ambos casos presenta el mejor ajuste para los datos, concluyendo que la adsorción es homogénea.

En consecuencia, es posible afirmar que el bioadsorbente de Lirio Acuático puede usarse como un material alternativo renovable, potencialmente eficiente, económico y rentable para la eliminación del colorante azul de metileno en procesos de tratamiento de aguas residuales industriales sin ningún pretratamiento laborioso con el fin también de mitigar la contaminación de los cuerpos de agua causada por el crecimiento descontrolado de la planta, así como también, sin necesidad de ser funcionalizado.

Bibliografía

- Basheer, A. (2018). *New generation nano-adsorbents for the removal of emerging contaminants in water*. Journal of Molecular Liquids. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.04.021>.
- Borges, R., Minillo, A., Lemos, E., Ferreira, H., & Pereira, E. (2016). *Uso de filtros de carvão ativado granular associado a microrganismos para remoção de fármacos no tratamento de água de abastecimento*. Engenharia Sanitaria e Ambiental. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016118787>.
- Calderon, G., Suárez, L. & Beltrán, A. (2008). *Problemática Ambiental de los Cuerpos de Agua de Cartagena de Indias*. Revista Científica TEKNO Ingenierías.
- Carneiro, M., Barros, A., Morais, A., Carvalho Melo, A., Bezerra, R., Osajima, J., & Silva-Filho, E. (2022). *Application of Water Hyacinth Biomass (Eichhornia crassipes) as an Adsorbent for Methylene Blue Dye from Aqueous Medium: Kinetic and Isothermal Study*. Polymers. <https://doi.org/10.3390/polym14132732>.
- Cerveira, W. & Carvalho, L. (2019). *Control of water hyacinth: a short review*. Communications in Plant Sciences. <https://doi.org/10.26814/cps2019021>.
- El-Khaiary, M. (2007). *Kinetics and mechanism of adsorption of methylene blue from aqueous solution by nitric-acid treated water-hyacinth*. Journal of Hazardous Materials. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.12.058>.
- Feizi, M. & Jalali, M. (2015). *Removal of heavy metals from aqueous solutions using sunflower, potato, canola and walnut shell residues*. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers.
- ONU. (2020). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos: Agua y cambio climático. In *ONU-Agua*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373611>.
- Peláez, A., Herrera, A., Bautista, A., & Salazar, M. (2016). *Preparation and characterization of activated carbon from Agave tequilana Weber for the removal of textile dyes and heavy metals*. Desalination and Water Treatment. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1111815>.
- Ramírez, J. (2023). *Tratamiento de aguas residuales y problemáticas ambientales del sector textil en Colombia : una revisión*. Informador Técnico. <https://doi.org/10.23850/22565035.5304>.
- Saufi, H., Alouani, M., Aride, J., & Taibi, M. (2019). *Rhodamine B biosorption from aqueous solution using Eichhornia crassipes powders: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies*. Chemical Data Collections. <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2019.100330>.
- Semarnat. (2016). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2015. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde.
- Solís, M., Solís, A., Pérez, H., Manjarrez, N., & Flores, M. (2012). *Microbial decolouration of azo dyes: A review*. Process Biochemistry. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.08.014>.
- Wanyonyi, W., Onyari, J., & Shiundu, P. (2013). *Adsorption of methylene blue dye from aqueous solutions using eichhornia crassipes*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1053-0>.