

Remoción de azul de metileno en solución acuosa empleando fibra lignocelulósica

Karla Andrea Olmos Dávila, Raymundo Sánchez Orozco*, Moisés Solís Alvarado, Lina Agustina Bernal Martínez.

División de Ingeniería Química, Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, Carr. Toluca-Atlacomulco Km 44.8, Jocotitlán, Méx. 50700, México.

Fecha de recepción: 29 de octubre de 2021 - Fecha de aceptación: 7 de abril de 2022

Resumen

Se investigó el potencial de la biomasa *Typha latifolia* (TL) en la eliminación de azul de metileno (AM) contenido en soluciones acuosas. La TL se utilizó sin ninguna modificación química previa. Los experimentos de adsorción por lotes se llevaron a cabo bajo parámetros de operación variables de pH, concentración inicial, tiempo de contacto y dosis de adsorbente. Para el análisis de datos, se utilizaron isothermas de equilibrio y cinéticas de adsorción. La morfología de la superficie del adsorbente y las posibles interacciones entre la TL y el AM se caracterizaron mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), respectivamente. De acuerdo con los resultados obtenidos, los datos experimentales se ajustaron al modelo de Langmuir, con una capacidad máxima de adsorción de 127 mg/g. La eficiencia de eliminación del colorante alcanzó un valor máximo del 98%. Los resultados de este trabajo revelaron que la TL puede utilizarse como una alternativa potencial para la eliminación rápida de AM contenido en soluciones acuosas.

Palabras clave: Cinética de adsorción, Azul de metileno, *Typha latifolia*

Removal of methylene blue in aqueous solution using lignocellulosic fiber

Abstract

The potential of *Typha latifolia* (TL) biomass in the removal of methylene blue (MB) from aqueous solutions was investigated. TL was used without any prior chemical modification. Batch adsorption experiments were carried out under varying operating parameters of pH, initial concentration, contact time and adsorbent dosage. Equilibrium isotherms and adsorption kinetics were used for data analysis. The adsorbent surface morphology and possible interactions between TL and MB were characterised by scanning electron microscopy (SEM) and Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), respectively. According to the results obtained, the experimental data were fitted to the Langmuir model, with a maximum adsorption capacity of 127 mg/g. The removal efficiency of the dye reached

*r.sanchez@tesjo.edu.mx

a maximum value of 98%. The results of this work revealed that TL can be used as a potential alternative for the rapid removal of MB contained in aqueous solutions.

Key words: Adsorption kinetics, Methylene blue, *Typha latifolia*

Introducción

La eliminación de compuestos peligrosos de los efluentes industriales es uno de los retos medioambientales más graves de los últimos años y los tintes sintéticos están dentro de esta problemática. Los colorantes sintéticos se utilizan ampliamente en las industrias textil, del papel, del cuero, del plástico, de la impresión y de los cosméticos (Saif *et al.* 2012; Anisuzzaman *et al.* 2015). Pequeñas cantidades de estos colorantes pueden causar problemas ambientales locales y, al mismo tiempo podrían afectar significativamente la vida acuática fotosintética al reducir la transmisión de la luz solar, además debido a su naturaleza sintética y tóxica causan un grave impacto en la salud humana, originando problemas como alergias, dermatitis, irritación de la piel, cáncer y mutaciones (Gouamid *et al.* 2013). Actualmente existe una infinidad de adsorbentes que son clasificados de acuerdo a su origen en naturales o sintéticos, para el objetivo de esta investigación, es pertinente recurrir a la identificación de los adsorbentes derivados de materiales vegetales y entre ellos se pueden encontrar el polvo de bambú, la cáscara de naranja, el bagazo de caña de azúcar, las hojas de té, las fibras de *Luffa cylindrica*, la cáscara de arroz, el lirio acuático y otros materiales de desecho (Saif *et al.* 2012; Esan *et al.* 2014). *Typha latifolia* es una planta invasora y sin valor económico, sin embargo, ha mostrado su capacidad como adsorbente para la eliminación de colorantes de aguas

residuales sintéticas. El tallo y hojas de esta planta están constituidos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (Kumari y Tripathi 2015; Rebaque *et al.* 2017). Se ha utilizado comúnmente en humedales construidos como una alternativa eficaz para el tratamiento de efluentes sépticos (Meng *et al.* 2016).

Existen una gran variedad de estudios en donde se ha utilizado la biomasa de TL para eliminar contaminantes de soluciones acuosas, cada uno de estos presenta una forma diferente al momento de realizarlos. Lu y Liang (2013) utilizaron *Typha angustifolia* con modificación química para la eliminación de Pb (II). Hu *et al.* (2010) utilizaron la raíz de *Sideritis angustifolia* para eliminar el rojo congo logrando capacidades máximas de adsorción de 38.79 mg/g. Los estudios realizados por Shi *et al.* (2010) reportaron la preparación de carbón activo para la eliminación de tintes. Así mismo, Kumari y Tripathi (2015) demostraron la eliminación de metales pesados empleando materiales adsorbentes. En el estudio realizado por Rodríguez-Hernández *et al.* (2017) se empleó *Typha angustifolia* como potencial fitorremediador de 2,4-diclorofenol. En la Tabla 1 se observan las capacidades máximas de adsorción de distintos tipos de materiales dedicados a la eliminación de azul de metileno, dichos materiales, de igual manera que la *Thypa latifolia* no presentan tratamientos químicos previos:

Tabla 1. Comparación de las capacidades de adsorción de AM en distintos materiales

Adsorbente	Máxima adsorción (mg/g)	Referencia
Hojas de <i>Platanus orientalis</i>	114.9	Peydayesh y Rahbar-Kelishami, 2015
Cáscaras de habas	192.7	Hameed y El-khaiary, 2008
Fitomasa de <i>Typha angustata</i>	8.01	Saif Ur Rehman y Han, 2013
Residuos de naranja	30.3	Irem et al., 2013
Hojas de maíz	121.3	Zhou et al., 2011
Cáscara de <i>citrus limetta</i>	227.3	Shakoor y Nasar, 2016
Esponja cilíndrica Luffa	18.2	Esan et al., 2014
Cáscara de cítricos	25.5	Dutta et al., 2011

Es bien sabido que TL es una planta emergente hiperacumuladora. Además, se puede utilizar como sorbente de bajo costo teniendo en cuenta su estructura altamente porosa para tratar las aguas residuales (Saif Ur Rehman y Han 2013). Por lo tanto, esta investigación explora el potencial *Typha latifolia* en polvo para la eliminación del azul de metileno de soluciones sintéticas a través de estudios por lotes. Además, se evaluó la influencia de diferentes parámetros, como el tiempo de contacto, concentración inicial de colorante, dosis de adsorbente y pH. Para la validación de los datos experimentales se analizaron equilibrios de adsorción, isotermas y parámetros cinéticos.

Metodología experimental

Materiales

Las plantas de TL utilizadas en este estudio fueron recolectadas en una laguna de Tiacaque, Jocotitlán, México. Los tallos y las hojas de TL se cortaron en trozos pequeños, se lavaron con agua destilada para eliminar la suciedad y se secaron en una estufa a 65 °C. Después del secado, este material se molió utilizando un molino de aspas y se hizo pasar a través de un tamiz de malla No. 80. Finalmente, se almacenó para

su posterior uso en los experimentos de adsorción. No se aplicó ningún tratamiento físicoquímico adicional a la biomasa. La solución madre de AM se preparó a una concentración de 0.5 g/L. Las soluciones experimentales fueron preparadas a las concentraciones iniciales de 50 a 300 mg/L.

Experimentos de adsorción

Los estudios de adsorción por lotes se llevaron a cabo en matraces Erlenmeyer de 150 mL con 50 mL de solución de AM (100 mg/L). Se pesó 0.1 g de adsorbente y se añadió a la solución anterior. Los matraces se agitaron a 200 rpm durante 180 minutos a temperatura ambiente (25 °C). Se estudió la influencia de varias dosis de adsorbente (0.025-0.3 g), valores iniciales de pH (2-10) ajustado por soluciones alícuotas 0.1 M de NaOH y HCl respectivamente, tiempos de contacto (0-180 min) y concentraciones iniciales de colorante (50-300 mg/L). El intervalo de dosis del adsorbente, pH y concentraciones iniciales de la solución colorante fue seleccionado con base en estudios previos con ligeras modificaciones (Peydayesh et al., 2015; Esan et al., 2014).

Las soluciones de colorante se separaron del adsorbente mediante centrifugación a 4500

rpm durante 15 min. Los líquidos sobrenadantes fueron analizados para la determinación de la concentración final de AM utilizando un espectrofotómetro Genesys 10S UV-vis (Thermo Scientific) a 665 nm (Guo et al. 2014).

La cantidad de colorante adsorbido en el tiempo t (q_t) y en el tiempo de equilibrio (q_e), así como el porcentaje de eliminación se calcularon utilizando las ecuaciones 1, 2 y 3, respectivamente:

$$q_t = \frac{(C_o - C_t)V}{M} \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{M} \quad (2)$$

$$\%Remoción = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \quad (3)$$

Donde C_o y C_t (mg/L) son las concentraciones inicial y final de AM, respectivamente; C_e (mg/L) es la concentración de colorante en el tiempo de equilibrio; M (g) es la masa de adsorbente utilizada; y V (L) es el volumen de la solución de colorante.

Caracterización del adsorbente

Los posibles cambios en la morfología de la superficie del adsorbente se observaron

mediante microscopía electrónica de barrido (SEM; JEOL JSM-IT100, Japón). Las muestras de SEM se prepararon depositando las partículas de forma homogénea sobre una cinta adhesiva de carbono conductora. Las muestras se analizaron en bajo vacío a 15 kV utilizando el detector de electrones retrodispersados. Además, se realizó un estudio FTIR utilizando un espectrofotómetro FTIR con un accesorio de muestreo UATR para identificar los grupos funcionales presentes en las muestras, los espectros se registraron en el rango de 4000 a 500 cm^{-1} .

Isotermas y cinética de adsorción

Se emplearon tres modelos paramétricos, Langmuir (Zhou et al. 2011; Anisuzzaman et al. 2015), Freundlich (Chowdhury et al. 2011; Irem et al. 2013; Esan et al. 2014) y Temkin (Hameed 2009; Hameed y Ahmad 2009; Shakoor y Nasar 2016), para investigar el comportamiento de la adsorción. También se utilizaron modelos cinéticos para determinar el mecanismo de sorción del AM en la TL en función del tiempo. Los modelos cinéticos considerados fueron pseudo primer orden y segundo orden (Ho y McKay 1999). Las ecuaciones de dichos modelos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Modelos de isotermas y cinética empleados para el proceso de adsorción

Modelo	Ecuación
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}K_L} + \frac{C_e}{q_{max}}$ (4)
Freundlich	$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$ (5)
Temkin	$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln K_T + \frac{RT}{b_T} \ln C_e$ (6)
Pseudo-primer orden	$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$ (6)

Pseudo-segundo orden
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (7)$$

Resultados y Discusión

Análisis FTIR

En la Figura 1, se observa la absorción a 3339 cm^{-1} atribuido a vibraciones de estiramiento de los grupos O-H de la estructura celulósica de TL. El pico localizado en 2918 cm^{-1} evidenció vibraciones del enlace C-H. La vibración ubicada en 1731 cm^{-1} se asignó al estiramiento C=O de aldehídos y cetonas. Mientras tanto, la vibración de estiramiento en 1604 cm^{-1} se relacionó con el enlace conjugado C=C de los alquenos (Etim et al. 2016). El pico predominante alrededor de

1035 cm^{-1} se asignó al grupo funcional C-O-C de las estructuras de celulosa y lignina de TL. Los cambios observados tales como la intensidad de los picos en cada espectro reflejan la evidencia de la interacción entre las moléculas de AM y los grupos funcionales presentes en la superficie de la TL que podrían estar involucrados en el proceso de adsorción del colorante. Así mismo, se puede apreciar que no hubo un cambio significativo en los valores absolutos de los picos de absorción, sin embargo, la intensidad aumentó después del contacto con el colorante, por lo tanto, es posible establecer que el proceso está asociado a un mecanismo de fisisorción.

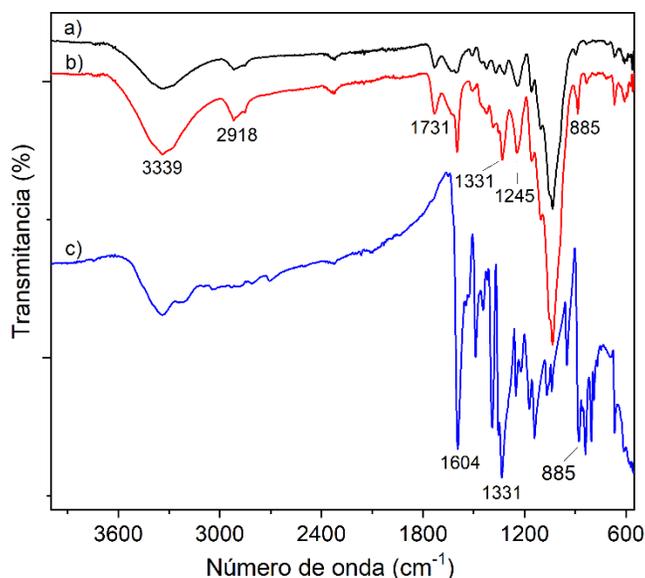


Figura 1. Espectros FTIR: a) Previo al proceso de adsorción, b) posterior al proceso de adsorción, c) AM.

Microscopía electrónica de barrido del adsorbente

Con el objetivo de visualizar las características morfológicas del

biosorbente, así como los cambios producidos en el material posterior a su contacto con el colorante AM, se examinaron las muestras mediante microscopía electrónica de barrido. Como se muestra en la Figura 2, la micrografía del biosorbente mostró una morfología con exposición de la estructura de la pared celular de las fibras. También puede notarse que en la superficie del biosorbente TL se encuentra como principal característica,

capas laminares bien estructuradas sin una dirección definida, así como la presencia de cavidades o canales, debido a esto, se pueden considerar a la biomasa TL como material poroso. Así mismo, como consecuencia del acondicionamiento físico del material, la muestra presenta una mayor área exposición o superficial. Esta característica proporciona a este biosorbente mejores capacidades de adsorción.

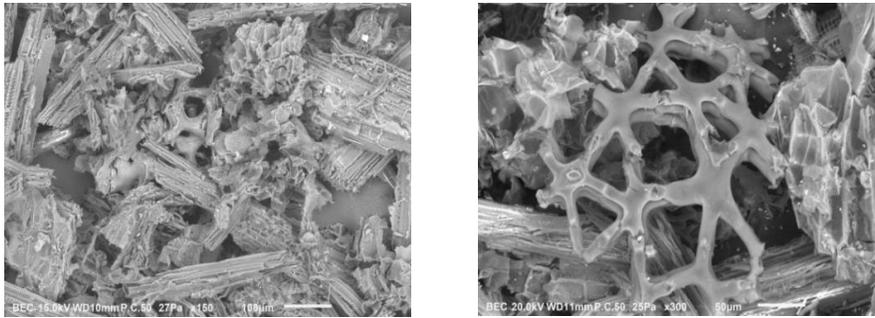


Figura 2. Previo (izquierda) y posterior (derecha) al proceso de adsorción

Efecto de la dosis de adsorbente

La dosis del adsorbente es un parámetro muy importante en un estudio de adsorción ya que determinó la capacidad del adsorbente TL para tratar una solución coloreada de AM a una concentración inicial dada. Como se muestra en la Figura 3, la adsorción de AM aumentó significativamente del 31% al 98.7% con el aumento en la cantidad de TL añadida de 0.0125 a 0.3 g. Un aumento adicional de la dosis de adsorbente más allá de 0.15 g no tuvo un efecto notable en la capacidad de

adsorción, tras lo cual se alcanzó el equilibrio. Así, los ensayos con diferentes dosis de biomasa muestran una disminución progresiva de la capacidad de adsorción, conforme aumenta la cantidad de material adicionado a la solución, lo cual, se puede dar como consecuencia de las interacciones electrostáticas entre las partículas de biomasa, disminuyendo los sitios de contacto, por aglomeración de las mismas (Chowdhury et al. 2011; Etim et al. 2016).

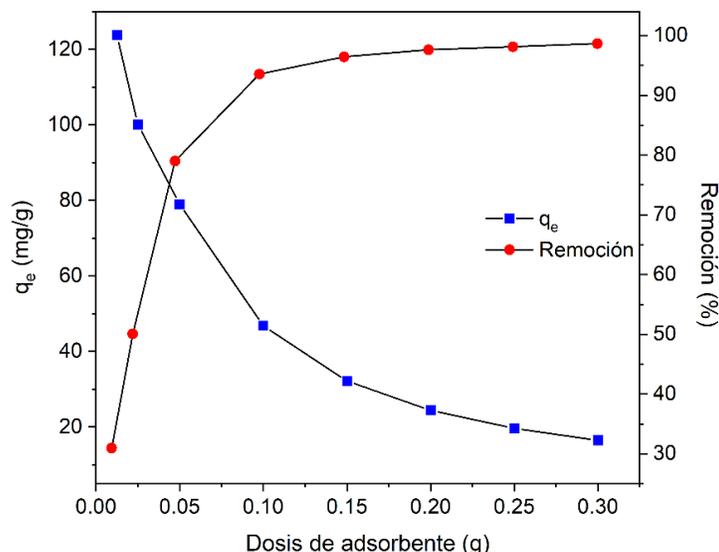


Figura 3. Efecto de la dosis de adsorbente en la capacidad de adsorción

Efecto del pH inicial

Los resultados de la Figura 4 muestran un fuerte incremento en la capacidad de adsorción a medida que el pH se incrementa de 2 a 10. La menor eliminación se obtuvo a pH 2 (32.7%), mientras que la mejor adsorción se produjo a pH 10 (97.9%). Se puede observar que el pH de la solución tuvo un efecto notable en la cantidad de MB adsorbida. Cuando el pH de la solución de

colorante aumentó, la superficie de TL adquirió una carga negativa, lo que resultó en una mayor adsorción de AM debido a un aumento en la atracción electrostática entre el adsorbente cargado negativamente y el colorante cargado positivamente. Los resultados sugieren que la eficiencia de eliminación es favorecida en un entorno alcalino.

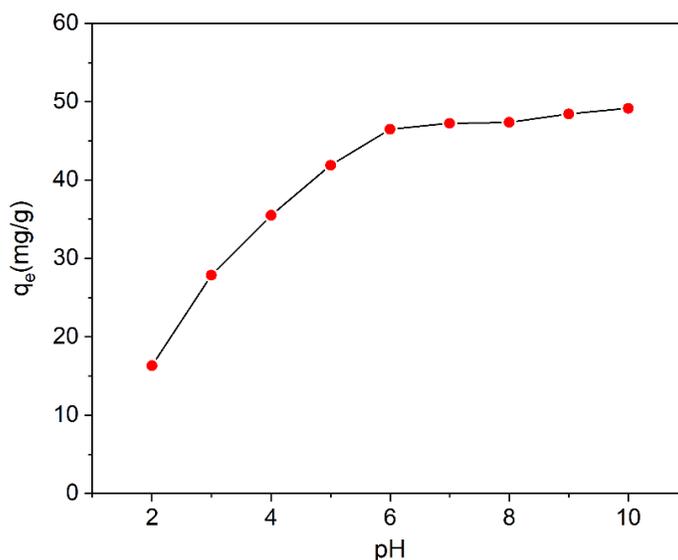


Figura 4. Efecto del pH en la capacidad de remoción de AM

Efecto del tiempo de contacto y de la concentración inicial del colorante

La Figura 5 muestra el efecto del tiempo de contacto y de la concentración inicial de colorante sobre la adsorción de AM en TL. La adsorción en equilibrio aumentó de 24.1 a 141.3 mg/g, con un aumento de la concentración inicial de AM de 50 a 300 mg/L. Los resultados mostraron que el tiempo necesario para que el adsorbente alcanzara el equilibrio era de aproximadamente 60 minutos. Sin embargo, las mediciones experimentales de los datos se obtuvieron considerando 180 min para asegurarse de que se alcanzaba el equilibrio

total. Esto en comparación con otros que estudiaron que evaluaron un tiempo de contacto mayor a 120 minutos (Hameed and Ahmad 2009; Hameed et al. 2009), sugiriendo que una rápida adsorción del adsorbato por un adsorbente es muy importante cuando el proceso de adsorción se implementa en el tratamiento de aguas residuales que contienen colorante. Finalmente, los resultados del estudio mostraron que la concentración inicial no tenía efecto significativo en el tiempo de contacto ya que el patrón de comportamiento fue el mismo con cada concentración.

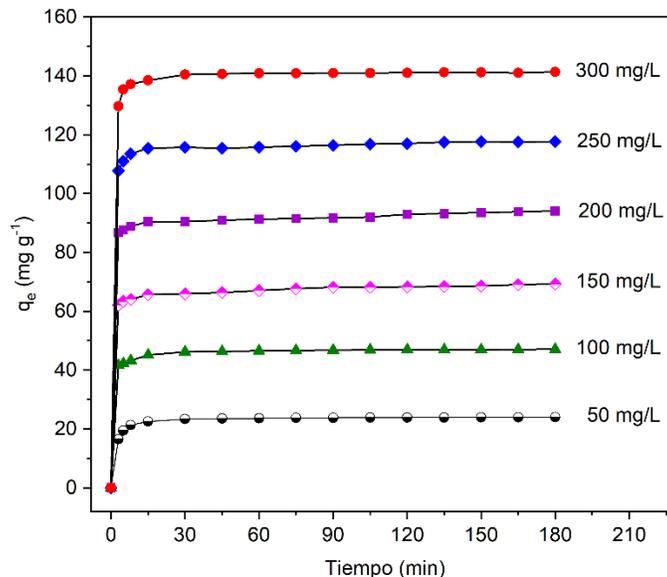


Figura 5. Efecto de la concentración inicial y tiempo de contacto

Isotermas de adsorción

El modelo de isoterma de Langmuir fue estadísticamente significativo y tuvo un mejor ajuste respecto a los modelos de Freundlich y Tempkin, lo que refleja el hecho de que la adsorción del AM sobre TL tiene lugar como una cobertura de monocapas (Tipo I) sobre una superficie que está uniformemente distribuida. Es decir, la

cantidad adsorbida de colorante aumentó hasta alcanzar un valor límite correspondiente al recubrimiento de la superficie del adsorbato. Esta característica está asociada a un proceso de quimisorción (Kumari et al., 2015). El modelo de Langmuir ($R^2=0.9809$), sugiere que se caracteriza por una adsorción homogénea y su capacidad máxima para AM fue de 126.6

mg/g. A partir de la Figura 6, se puede observar que las curvas isotérmicas

mostraron la superposición de los datos experimentales y teóricos.

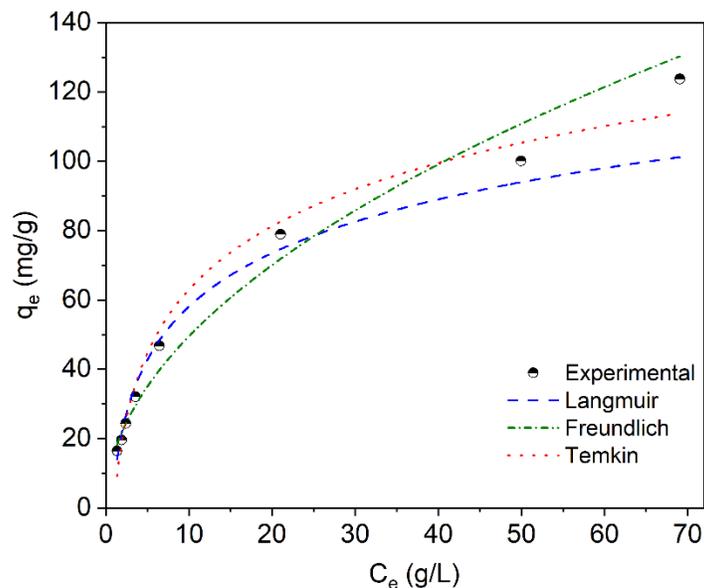


Figura 6. Datos experimentales comparados con modelos de isoterma

Estudios cinéticos

Los datos obtenidos de los experimentos dependientes del tiempo de contacto se utilizaron para evaluar la cinética del proceso de adsorción. Esto implica la predicción de la tasa de adsorción y la búsqueda de un modelo que se ajuste adecuadamente a los datos experimentales en función de varias condiciones de operación. La Figura 7 (derecha) y Tabla 3 muestran que es evidente que el modelo de pseudo-segundo orden (~ 1.0) se ajusta a los

datos experimentales en comparación con el modelo de pseudo-primer orden (izquierda) (0.7538 a 0.9836). Por lo tanto, se puede concluir que el modelo cinético de pseudo-segundo orden proporcionó una mejor correlación para la adsorción de AM en TL a diferentes concentraciones iniciales de AM. Estos resultados cinéticos también han sido reportados para la adsorción de colorante en materiales lignocelulósicos (Hameed 2009).

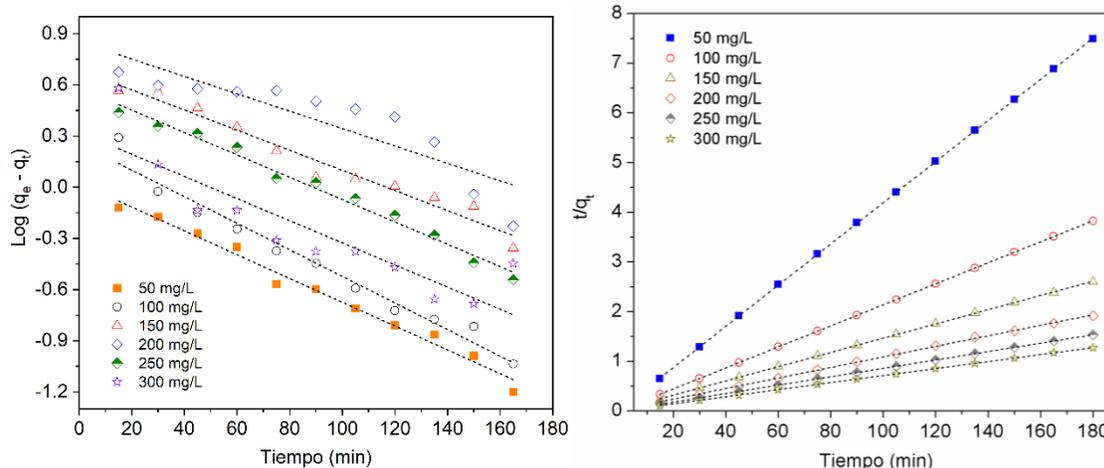


Figura 7. Cinética de pseudo primer y segundo orden

Tabla 3. Parámetros constantes de los modelos cinéticos

C_0 (mg L^{-1})	$q_{e,\text{exp}}$ (mg g^{-1})	Pseudo-primero orden			Pseudo-segundo orden		
		$q_{e,\text{cal}}$ (mg g^{-1})	k_1 (min^{-1})	R^2	$q_{e,\text{cal}}$ (mg g^{-1})	k_2 ($\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1}$)	R^2
50	24.04235	1.0234	0.00698	0.98363	24.1196	6.12363×10^{-5}	0.99998
100	47.10915	1.2925	0.00779	0.96824	47.2589	1.52293×10^{-5}	0.99999
150	69.30537	1.9913	0.00590	0.96008	69.7836	5.55458×10^{-5}	0.99983
200	94.12125	2.3487	0.00510	0.75920	94.1619	8.45375×10^{-5}	0.99930
250	117.66675	1.7917	0.00655	0.98360	118.2033	1.32041×10^{-5}	0.99997
300	141.38059	1.3818	0.00649	0.75380	141.4427	3.97023×10^{-6}	1.00000

Conclusiones

Este estudio demostró que la biomasa *Typha latifolia* posee una alta capacidad de adsorción y muestra potencial como adsorbente para la eliminación de AM en solución acuosa. Los datos de equilibrio se ajustaron a la isoterma de Langmuir y la capacidad máxima de adsorción en monocapa de TL fue de 126.6 mg/g. El pH y la dosis de adsorbente fueron los parámetros de mayor efecto en la adsorción

de azul de metileno. La cinética de adsorción fue descrita por el modelo de pseudo-segundo orden. La eliminación máxima del 98.69% se obtuvo durante el estudio cinético en sistemas de modo discontinuo. El biosorbente propuesto es un material de fácil disponibilidad del material, nula necesidad de una etapa de pretratamiento y representa una alternativa para ser aplicado como sistema complementario en el tratamiento terciario de las aguas residuales.

Referencias

- Anisuzzaman, S. M., Joseph, C. G., Krishnaiah, D., Bono, A., and Ooi, L. C. (2015). Parametric and adsorption kinetic studies of methylene blue removal from simulated textile water using durian (*Durio zibethinus* Murray) skin, *Water Sci. Technol.* 72(6), 896-907.

- Chowdhury, S., Chakraborty, S., and Saha, P. (2011). Biosorption of basic green 4 from aqueous solution by *Ananas comosus* (pineapple) leaf powder, *Colloids Surf. B: Biointerf.* 84(2), 520-527.
- Dutta, S., Bhattacharyya, A., Ganguly, A., Gupta, S., and Basu, S. (2011). "Application of response surface methodology for preparation of low-cost adsorbent from citrus fruit peel and for removal of methylene blue," *Desalination* 275(1-3), 26-36.
- de Lima, A. C. A., Nascimento, R. F., de Sousa, F. F., Filho, J. M., and Oliveira, A. C. (2012). "Modified coconut shell fibers: A green and economical sorbent for the removal of anions from aqueous solutions," *Chem. Eng. J.* 185-186, 274-284
- Esan, O. S., Abiola, O. N., Owoyomi, O., Aboluwoye, C. O., and Osundiya, M. O. (2014). Adsorption of brilliant green onto luffa cylindrical sponge: Equilibrium, kinetics, and thermodynamic studies, *ISRN Phys. Chem.* 2014, 743532.
- Etim, U. J., Umoren, S. A., and Eduok, U. M. (2016). Coconut coir dust as a low cost adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solution, *J. Saudi Chem. Soc.* 20, S67-S76.
- Garba, Z. N., Ugbaga, N. I., and Abdullahi, A. K. (2016). "Evaluation of optimum adsorption conditions for Ni(II) and Cd(II) removal from aqueous solution by modified plantain peels (MPP)," *Beni-Suef Univ. J. Basic Appl. Sci.* 5(2), 170-179.
- Gouamid, M., Ouahrani, M. R., and Bensaci, M. B. (2013). Adsorption equilibrium, kinetics and thermodynamics of methylene blue from aqueous solutions using date palm leaves, *Energy Procedia* 36, 898-907.
- Hameed, B. H. (2009). "Spent tea leaves: A new non-conventional and low-cost adsorbent for removal of basic dye from aqueous solutions," *J. Hazard. Mater.* 161(2-3), 753-759.
- Hameed, B. H., and Ahmad, A. A. (2009). "Batch adsorption of methylene blue from aqueous solution by garlic peel, an agricultural waste biomass," *J. Hazard. Mater.* 164(2-3), 870-875. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.08.084
- Hameed, B. H., and El-khaiary, M. I. (2008). "Sorption kinetics and isotherm studies of a cationic dye using agricultural waste: Broad bean peels," *J. Hazard. Mater.* 154(1-3), 639-648. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.10.081
- Hameed, B. H., Mahmoud, D. K., and Ahmad, A. L. (2008a). "Equilibrium modeling and kinetic studies on the adsorption of basic dye by a low-cost adsorbent: Coconut (*Cocos nucifera*) bunch waste," *J. Hazard. Mater.* 158(1), 65-72.
- Irem, S., Mahmood Khan, Q., Islam, E., Jamal Hashmat, A., Anwar ul Haq, M., Afzal, M., and Mustafa, T. (2013). "Enhanced removal of reactive navy blue dye using

powdered orange waste,” *Ecol. Eng.* 58, 399-405.

Kumari, M., and Tripathi, B. D. (2015). Efficiency of *Phragmites australis* and *Typha latifolia* for heavy metal removal from wastewater, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 112, 80-86.

Lu, Y., and Liang, Q. (2013). “Removal of Pb(II) from vanillin solution by acid-modified cattail biomass,” *BioResources* 8(2), 2631-2640.

Meng, H., Wang, X., Tong, S., Lu, X., Hao, M., An, Y., and Zhang, Z. (2016). Seed germination environments of *Typha latifolia* and *Phragmites australis* in wetland restoration, *Ecol. Eng.* 96, 194-199.

Peydayesh, M., and Rahbar-Kelishami, A. (2015). “Adsorption of methylene blue onto *Platanus orientalis* leaf powder: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies,” *J. Ind. Eng. Chem.* 21, 1014-1019.

Rebaque, D., Martínez-Rubio, R., Fornalé, S., García-Angulo, P., Alonso-Simón, A., Álvarez, J. M., Caparros-Ruiz, D., Acebes, J. L., and Encina, A. (2017). Characterization of structural cell wall polysaccharides in cattail (*Typha latifolia*): Evaluation as potential biofuel feedstock, *Carbohydr. Polym.* 175, 679-688.

Rodriguez-Hernandez, M. C., Garcia De la-Cruz, R. F., Leyva, E., and Navarro-Tovar, G. (2017). “*Typha latifolia* as potential phytoremediator of 2,4-dichlorophenol: Analysis of tolerance, uptake and possible transformation processes,” *Chemosphere* 173, 190- 198.

Saif Ur Rehman, M., and Han, J. I. (2013). Biosorption of methylene blue from aqueous solutions by *Typha angustata* phytomass, *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 10(4), 865-870.

Saif, M., Rehman, U., Kim, I., and Han, J. (2012). Adsorption of methylene blue dye from aqueous solution by sugar extracted spent rice biomass, *Carbohydr. Polym.* 90(3), 1314-1322.

Shakoor, S., and Nasar, A. (2016). “Removal of methylene blue dye from artificially contaminated water using *Citrus limetta* peel waste as a very low cost adsorbent,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 66, 154-163.

Shi, Q., Zhang, J., Zhang, C., Li, C., Zhang, B., Hu, W., Xu, J., and Zhao, R. (2010). “Preparation of activated carbon from cattail and its application for dyes removal,” *J. Environ. Sci.* 22(1), 91-97.

Zhou, Q., Gong, W. Q., Li, Y. B., Chen, S. H., Yang, D. J., Bai, C. P., Liu, X. F., and Xu, N. (2011). Biosorption of methylene blue onto spent corncob substrate: Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies, *Water Sci. Technol.* 63(12), 2775-2780.