

Capítulo 4 Remoción del colorante industrial azul de cresil brillante utilizando el alga parda *Fucus vesiculosus*

Chapter 4 Removal of industrial dye brilliant cresyl blue using the brown algae *Fucus vesiculosus*

POLANCO-GAMBOA, Diego Melchor†*, OLGUÍN-GUTIÉRREZ, María Teresa y ABATAL, Mohamed

Universidad Autónoma del Carmen - Facultad de Química

ID 1^{er} Autor: *Polanco-Gamboa, Diego Melchor* / **ORC ID:** 0000-0003-3073-8893, **CVU CONACYT ID:** 1144634

ID 1^{er} Coautor: *Olguín-Gutiérrez, María Teresa* / **ORC ID:** 0000-0002-4343-0567, **CVU CONACYT ID:** 9094

ID 2^{do} Coautor: *Abatal, Mohamed* / **ORC ID:** 0000-0003-2479-8769, **CVU CONACTY ID:** 203026

DOI: 10.35429/H.2022.9.51.63

D. Polanco, M. Olguín y M. Abatal

*100631@mail.unacar.mx

S. Figueroa & J. Sierra (VV. AA.). Ingeniería y Materiales Aplicados al Medio Ambiente. Handbooks-TI - ©ECORFAN-Mexico, 2022.

Resumen

Las arribazones de sargazo en las costas de varios países del mundo, es una de las recientes problemáticas ambientales. Utilizar estas algas para la remoción de contaminantes es una alternativa con la cual se limpian las costas y se les da una aplicación a estas algas. Los colorantes en utilizan en las diferentes industrias y su regulación ha sido poco cuestionada, sin embargo, contaminan de gran forma los cuerpos de agua. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de remoción del colorante azul de cresil brillante (ACB), empleando como biosorbente el alga parda *Fucus vesiculosus* (sargazo vejigoso). Para este estudio, se consideraron los efectos de los siguientes parámetros sobre la eficiencia de remoción del colorante: tiempo de contacto, concentración del colorante, temperatura y el pH del medio acuoso, así como la dosis de biomasa. Se determinó el punto cero de carga del sargazo. Los resultados mostraron que el comportamiento de adsorción fue descrito mejor por el modelo de Freundlich. Con respecto a la cinética de adsorción, los datos obtenidos mostraron un buen ajuste al modelo de pseudo segundo orden.

Alga parda, Biosorción, Contaminación, Medio ambiente

Abstract

The arrival of sargassum on the coasts of countries around the world is a current environmental problem. Using these algae for the removal of pollutants is an alternative with which the coasts are cleaned and the removed algae are applied to fix another contamination problem. Dyes are very applied in the different industries and his regulation have been little questioned, however, dyes pollute in a significative way water bodies. This study have the objective value the removal efficiency of brilliant cresyl blue dye, using as biosorbent the brown algae *Fucus vesiculosus*. The effects of the follow parameters: contact time, dye concentration, biomass dosage, aqueous medium pH and temperature were consider on the efficiency dye removal. The pH zero charge point was determinated. Results showed that the adsorption behavior was best described by the Freundlich model. About the adsorption kinetics, obtained data showed best fitted to pseudo second order model.

Brown algae, Biosorption, Contamination, Environmental

1 Introducción

Los colorantes son muy utilizados en diferentes industrias, las cuales descargan residuos acuosos, directamente a los cuerpos de agua sin un tratamiento previo, siendo el primer signo visible de su contaminación, su color. La pérdida de transparencia del agua debido a los colorantes dificulta la función fotosintética de las plantas y la disminución del oxígeno disuelto disponible para la fauna marina (Hernández *et al.*, 2020).

Por otra parte, las arribazones de algas en las costas, conlleva a dos problemáticas principales; la primera: socioeconómica, puesto que los turistas ven el sargazo como basura que afecta el paisaje de las playas, la segunda problemática es la ambiental, ya que el sargazo flotante en la superficie marina limita el paso de luz hacia el fondo marino y los olores generados del proceso de descomposición de las algas pueden resultar tóxicos (Ortegón & Ávila, 2020).

Las algas son un material renovable, accesible que, con un procesamiento simple, presentan propiedades favorables para su aplicación como biosorbentes de diferentes contaminantes (Santos *et al.*, 2018). Mientras que la mayoría de los tratamientos convencionales, como por ejemplo los procesos biológicos o tratamientos de oxidación avanzado presentan como principales desventajas: los altos costos de operación y poca eficiencia de remoción (Lebron *et al.*, 2019).

El alga *Fucus vesiculosus* pertenece a la clase *Phaeophyta* (algas pardas). El alga *Fucus vesiculosus* es utilizada como suplemento alimenticio debido a sus componentes químicos (Villamar & Carretero, 2004), también ha sido utilizada para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Mata *et al.*, 2009). Las algas pardas como el *Sargassum duplicatum* se han probado para eliminar metales como el Pb, Cu y Cd (Sembiring, 2006) y el colorante azul de metileno (Pratiwi *et al.*, 2020) y la *Cystoseria indica* para eliminar los metales Ni y Cd (Khajavian *et al.*, 2019).

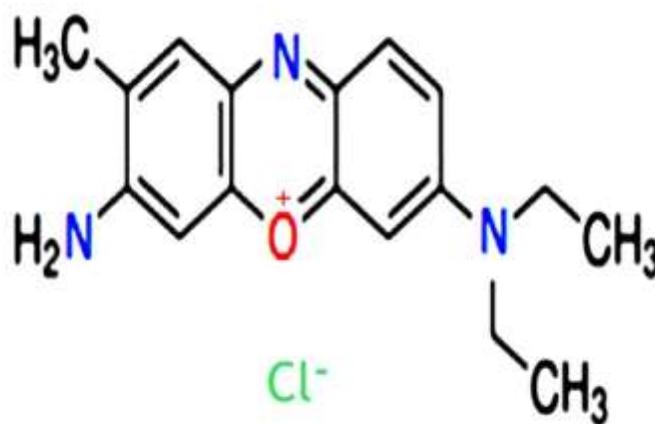
Basado en lo anterior, las algas pardas tienen múltiples aplicaciones, resaltando la eliminación de contaminantes en donde se han encontrado altos porcentajes de remoción. Además, su principal ventaja, es una alternativa económica frente a otros biosorbentes. En este trabajo se utilizó *Fucus vesiculosus* deshidratada para remover el colorante azul de cresil brillante en solución acuosa. Se evaluaron los efectos de los siguientes parámetros en la eficiencia de remoción: tiempo de contacto, concentración del colorante, temperatura y el pH del medio acuoso, así como la dosis de biomasa.

2 Metodología

2.1 Materiales

En este trabajo se consideró al colorante azul de cresil brillante (Figura 1) de la marca FAGALAB. Se adquirió de manera comercial a la planta deshidratada llamada *Fucus vesiculosus* de la marca TENANGO.

Figura 1 Estructura molecular azul de cresil brillante



2.2 Caracterización del alga

Se determinó el punto cero de carga del alga utilizando NaCl 0.1 M como solución electrolítica de base en el intervalo de pH de 1 a 12. El pH de la solución se ajustó con HCl 0.1 M o NaOH y se midió el pH inicial. Posteriormente, se puso en contacto con el alga durante 24 horas y pasado el tiempo, se decantaron las soluciones y se midieron los valores del pH de cada solución.

2.3 Efecto de la concentración del colorante

Para estudiar el efecto de la concentración inicial del colorante en la capacidad de adsorción del alga, se prepararon diferentes soluciones con concentraciones desde 10 a 800 mg/L. En tubos de centrifuga, se agregaron 0.01g del alga *Fucus vesiculosus* a 10 mL de la solución de azul de cresil brillante y se mantuvieron en contacto por 24 horas en una incubadora rotatoria a 150 rpm a una temperatura constante de 25 °C y un pH = 2. Pasado el tiempo, las muestras se centrifugaron y analizaron por espectrofotometría UV-Vis, obteniendo previamente la curva de calibración a una longitud de onda de 635 nm.

Se calculó la capacidad de adsorción mediante la ecuación (1)

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)v}{m} \quad (1)$$

Donde C_o (mg/L) es la concentración inicial, C_e (mg/L) es la concentración en el equilibrio, q_e (mg/g) es la capacidad de adsorción, v (L) es el volumen y m (g) es la masa del adsorbente.

Los datos experimentales se ajustaron a diferentes isothermas de adsorción. La primera fue la isoterma de Langmuir cuya ecuación (2) corresponde al modelo no lineal, mientras que la ecuación (3) es la forma linealizada.

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad (3)$$

Donde q_m (mg/g) es la capacidad máxima de adsorción y K_L (L/mg) es la constante de equilibrio de Langmuir.

El factor R_L , es el factor de separación y se calcula mediante la ecuación (4)

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L C_0)} \quad (4)$$

Adicionalmente, los datos experimentales se ajustaron a la isoterma de Freundlich, cuya forma no lineal corresponde a la ecuación (5) y la forma linealizada, a la ecuación (6).

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (5)$$

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (6)$$

Donde K_F (mg/g) y n son las constantes de equilibrio de Freundlich.

2.4 Efecto del tiempo de contacto

Se preparó una solución de azul de cresil brillante de 800 mg/L y se puso en contacto con el alga, durante los siguientes tiempos: 5, 15, 30, 60, 120, 180, 360, 1440 minutos bajo las mismas condiciones mencionadas anteriormente.

Se calculó la capacidad de adsorción, q_t (mg/g) para cada tiempo mediante la ecuación (7):

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \quad (7)$$

Donde C_t (mg/L) es la concentración de azul de cresil brillante para un tiempo t .

Los datos obtenidos se evaluaron mediante las ecuaciones (8) y (9) correspondientes al modelo de pseudo primer orden no lineal y lineal, respectivamente, mientras que las ecuaciones (10) y (11) correspondientes al modelo de pseudo segundo orden no lineal y lineal, respectivamente.

$$q_t = q_{ecalc}(1 - \exp(-k_1 t)) \quad (8)$$

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_{ecalc}) - k_1 t \quad (9)$$

$$q_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2 q_{ecalc}^2} + \frac{t}{q_{ecalc}}} \quad (10)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_{ecalc}^2} + \frac{1}{q_{ecalc}} t \quad (11)$$

Donde q_{ecalc} es la capacidad de adsorción teórica (mg/g), k_1 (min^{-1}) y k_2 (g/mgmin) son las constantes de velocidad de pseudo primer y pseudo segundo orden, respectivamente.

2.5 Efecto pH

Para evaluar la influencia del pH en la eficiencia de remoción del colorante azul de cresil brillante se preparó una solución de 800 mg/L y se ajustó el pH a los siguientes valores: 2, 4, 7 y 8 agregando HCl 0.1 M y NaOH 0.1 M. Para determinar el valor de pH, se utilizó un potenciómetro marca HANNA modelo HI 98107. Las condiciones fueron las mismas que para la cinética.

2.6 Efecto temperatura

Se puso en contacto un volumen de 30 mL del colorante a una concentración de 800 mg/L, con 0.03 g de biomasa durante 30, 60, 120, 180 y 360 minutos a las siguientes temperaturas: 25, 40 y 60 °C.

2.7 Efecto dosis de biomasa

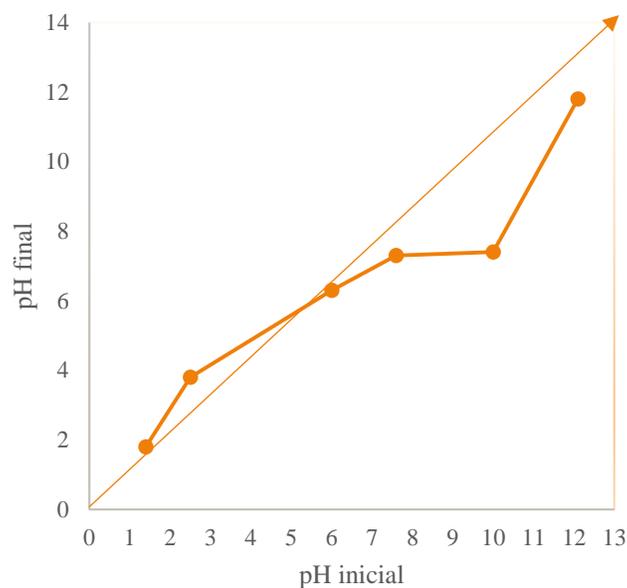
Se evaluó la influencia de la dosis del alga *Fucus vesiculosus* sobre la sorción del colorante y para ello, se puso en contacto un volumen de 10 mL del colorante a una concentración de 800 mg/L, con las siguientes cantidades de biomasa: 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.08 y 0.1 g durante 1440 minutos, una temperatura de 25 °C y pH 2.

3 Resultados

3.1 pH del punto cero de carga

El pH_{PZC} es un parámetro importante que ayuda a entender el comportamiento de la adsorción del colorante por el alga, valores de pH por debajo del pH_{PZC} indican una superficie del alga cargada positivamente favoreciendo la adsorción de aniones, mientras que a valores de pH por encima del pH_{PZC} la superficie del alga se carga negativamente, favoreciendo la adsorción de cationes. De acuerdo con la Figura 2, se obtuvo un pH_{PZC} del alga *Fucus vesiculosus* de 5.6, el cual es muy cercano a otros valores de pH_{PZC} reportados en la literatura, en los que se ha utilizado el alga deshidratada para la remoción de contaminantes, siendo el pH_{PZC} 5.2 de acuerdo con Yadav *et al.* (2022) y 5.77 ± 0.12 según lo que reportó Lebron *et al.* (2019).

Figura 2 Punto cero de carga del alga *Fucus vesiculosus*.



3.2 Adsorción

En la Figura 3 se muestra la isoterma de adsorción del colorante azul de cresil brillante, en la que se observa que a bajas concentraciones se obtiene un comportamiento definido, sin embargo, la gráfica se torna irregular a concentraciones medias y altas, ese comportamiento es muy poco común, pero puede presentarse en adsorción de cationes o aniones (Schwarzenbach *et al.*, 2003) como es el caso del colorante catiónico azul de cresil brillante. En la Figura 4 se tiene la solución de azul de cresil brillante a una concentración inicial de 800 mg/L (antes de la adsorción) y después de la adsorción observándose una eficiencia de remoción del 96.59 %.

Figura 3 Isotherma de adsorción del colorante azul de cresil brillante por el alga parda *Fucus vesiculosus*.

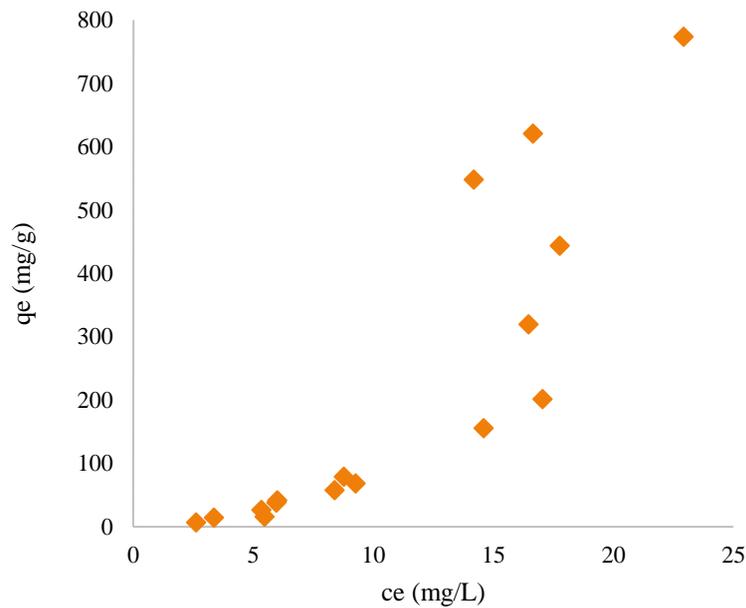


Figura 4 Azul de cresil brillante antes y después de la adsorción por el alga *Fucus vesiculosus*



Con los datos obtenidos se graficaron las formas lineales de los modelos matemáticos de isothermas de Langmuir y Freundlich como se muestran en las Figuras 5 y 6, respectivamente, como era de esperarse debido a la forma irregular de la isoterma de adsorción (Figura 3) no hay un buen ajuste en los modelos matemáticos propuestos. Mediante la pendiente y la ordenada al origen se determinaron los parámetros de adsorción de cada modelo de isoterma los cuales se muestran en la Tabla 1.

Figura 5 Representación gráfica C_e/q_e vs C_e de la isoterma de Langmuir linealizada para la adsorción del colorante azul de cresil brillante por *Fucus vesiculosus*

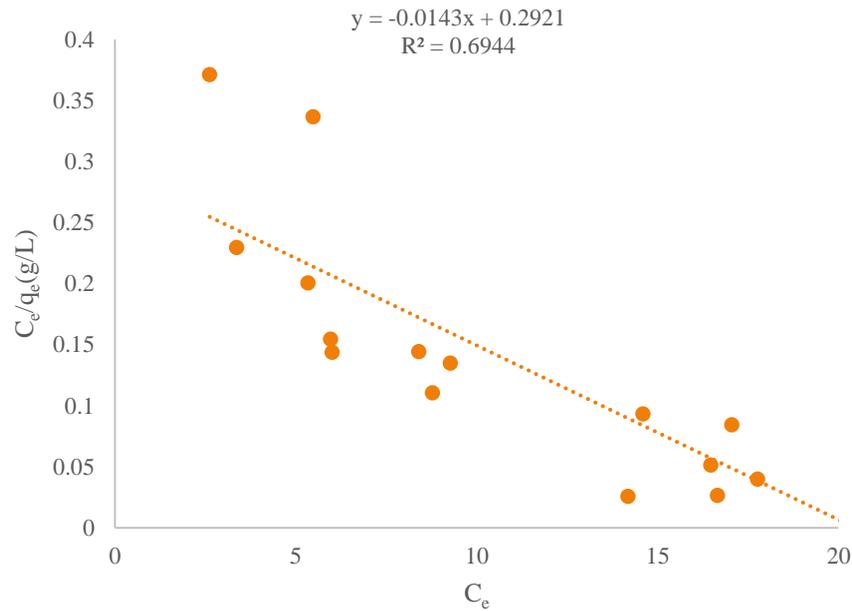


Figura 6 Representación gráfica $\log q_e$ vs $\log C_e$ de la isoterma de Freundlich linealizada para la adsorción del colorante azul de cresil brillante por *Fucus vesiculosus*

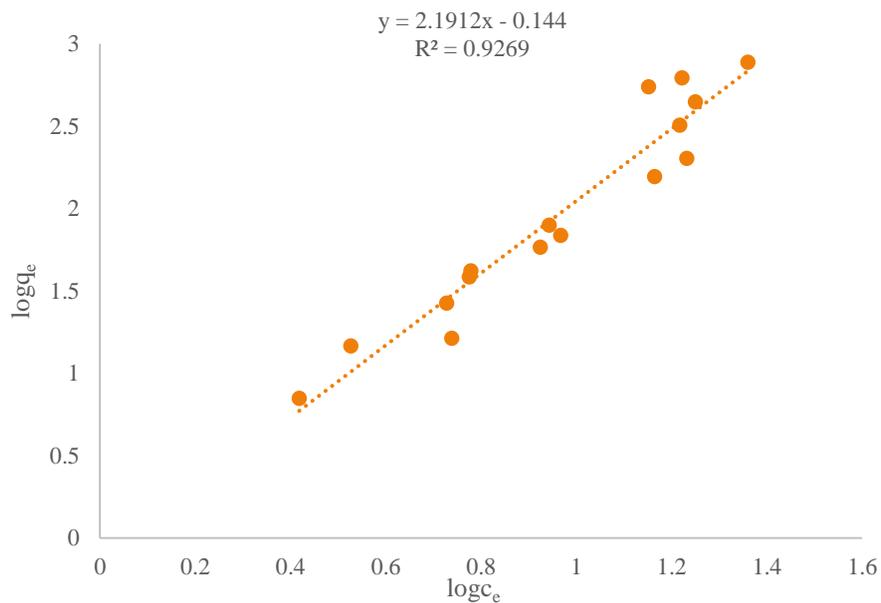


Tabla 1 Parámetros obtenidos de las diferentes isotermas en su forma lineal

Langmuir	
R^2	0.694
q_m calc(mg/g)	69.93
q_m exp (mg/g)	773.63
K_L (L/mg)	0.05
R_{Lmax}	1.89
R_{Lmin}	-0.03
Freundlich	
R^2	0.9269
K_F (mg/g)	0.72
n	0.46

De los modelos evaluados, el mayor valor de coeficiente de determinación (R^2) se obtuvo con el modelo de isoterma de Freundlich, por lo que la adsorción de azul de cresil brillante en alga *Fucus vesiculosus* se describe mejor, mediante dicho modelo.

El modelo asume que la adsorción se lleva a cabo por múltiples sitios de adsorción, en múltiples capas que se forman en una superficie heterogénea, tanto energéticamente como superficialmente, además, cuando el valor de la constante n de Freundlich se encuentra entre 1-10, la adsorción es favorecida (Lebron *et al.*, 2019), el valor de n obtenido fue 0.46, por lo que el proceso de adsorción del azul de cresil brillante es desfavorable, en este caso cuando $n < 1$ se infiere que el adsorbato está ligado con energías libres cada vez más débiles (Schwarzenbach *et al.*, 2003). Para el caso de la isoterma de Langmuir ($R^2=0.694$) en la Tabla 1, se observa el valor de $q_{m,calc}$ resultó de 69.93 mg/g, mientras que la $q_{m,exp}$ resultó de 773.63 mg/g lo cual corrobora que no hay un buen ajuste con este modelo, es decir que el proceso no se caracteriza por ser un tipo de adsorción química (Shehab *et al.*, 2019). Los valores obtenidos de $R_{l,max}$ y $R_{l,min}$ son 1.89 y -0.03, respectivamente. Un intervalo de R_l de 0-1 indica que la adsorción es favorable (Shehab *et al.*, 2019), en este caso no se encuentra en ese intervalo, por consiguiente la adsorción no es favorable.

3.3 Efecto del tiempo de contacto

En las Figuras 7 y 8 se muestran las gráficas de los modelos de Lagergren de pseudo primer orden y de Ho-Mckay de pseudo segundo orden, respectivamente.

Figura 7 Representación gráfica $\ln q_e - qt$ vs t del modelo de Lagergren de pseudo primer orden para la cinética de adsorción del colorante azul de cresil brillante por *Fucus vesiculosus*

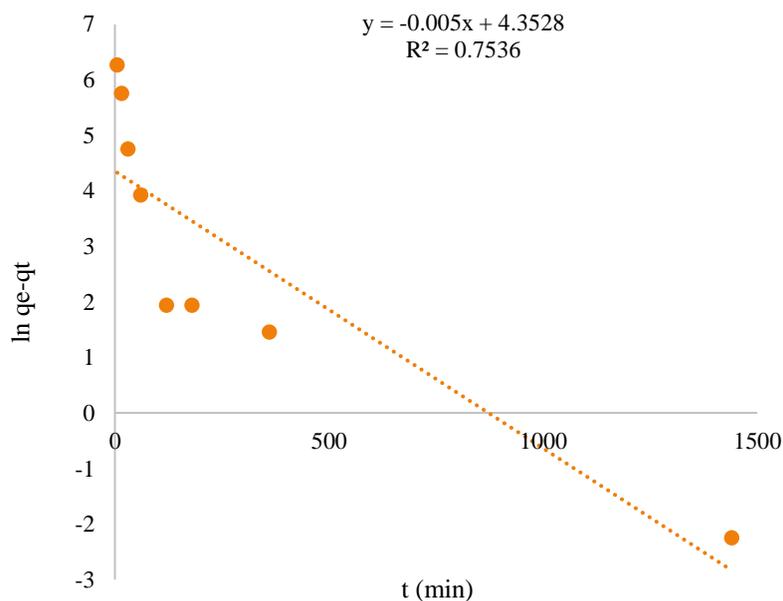
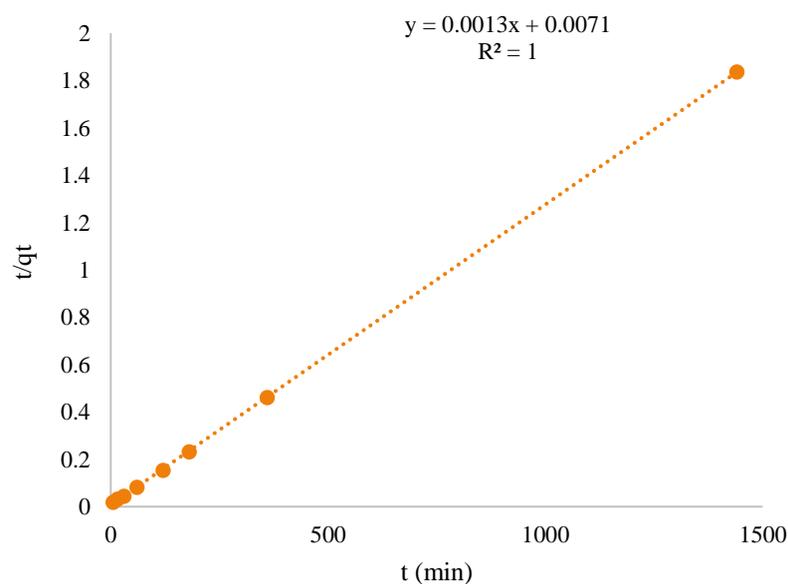


Figura 8 Representación gráfica t/q_t vs t del modelo de Ho-Mckay de pseudo segundo orden para la cinética de adsorción del colorante azul de cresil brillante por *Fucus vesiculosus*.



Los datos experimentales de la cinética de adsorción del colorante azul de cresil brillante se ajustaron mejor al modelo de pseudo segundo orden, Ho-Mckay ($R^2=0.999$), como se aprecia en la tabla 2, lo cual coincide con otros trabajos reportados previamente (Tabla 3). Además, en la misma Tabla 2, se muestra el valor obtenido de $q_{e,calc}$ de 787.40 mg/g, muy cercano al valor experimental obtenido de $Q_{e,exp}=773.63$ mg/g confirmándonos el buen ajuste al modelo de pseudo segundo orden.

Tabla 2 Parámetros cinéticos obtenidos para la adsorción del colorante azul de cresil brillante por *Fucus vesiculosus*

Lagergren pseudo primer orden	
R^2	0.7536
$q_e, calc$ (mg/g)	77.69
k_1 (min^{-1})	0.005
Ho-Mckay pseudo segundo orden	
R^2	0.9999
$q_e, calc$ (mg/g)	787.40
k_2 (g/mgmin)	0.00022

Tabla 3 Parámetros cinéticos obtenidos en otros trabajos reportados en la literatura, para la adsorción del colorante azul de cresil brillante por diferentes bio- y adsorbentes

Adsorbente	Orden de reacción	Referencia
<i>Fucus vesiculosus</i>	Pseudo segundo orden	Este estudio
Tierra de blanqueo regenerada	Pseudo segundo orden	(Shehab <i>et al.</i> , 2019)
Mezcla ácida de residuos provenientes destilación de tereftalato de dimetilo	Pseudo segundo orden	(Güçlü, 2010)
Resina recubierta de níquel/boruro de níquel nanopartículas	Pseudo segundo orden	(Çinar <i>et al.</i> , 2018)

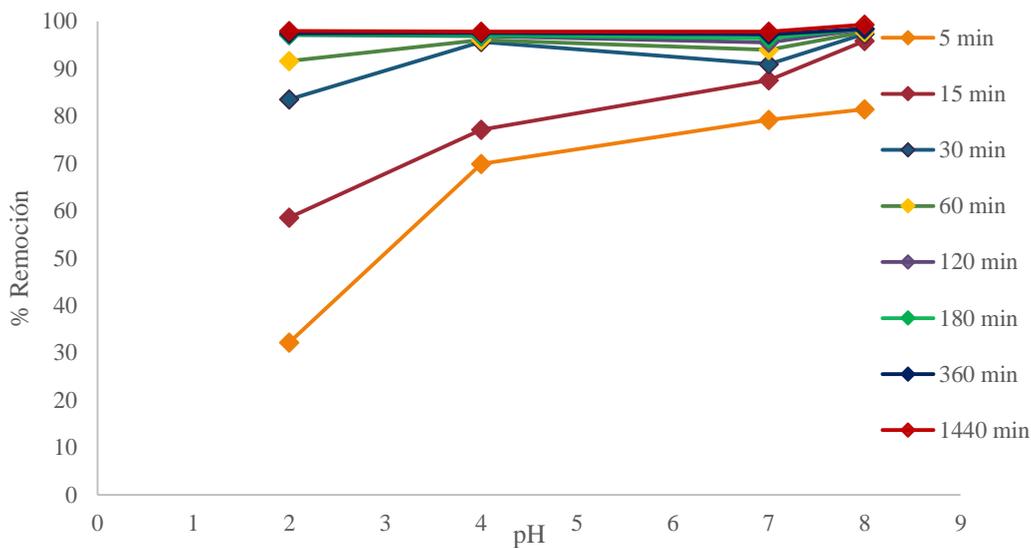
En la Tabla 4, se aprecian diferentes valores de la capacidad de adsorción del colorante azul de cresil brillante por otros adsorbentes Al realizar la comparación, el alga *Fucus vesiculosus* presenta mayor capacidad de biosorción que otros biosorbentes como el aserrín y la hoja de *Tamarix aphylla* o adsorbentes más complejos como geles y resinas.

Tabla 4 Comparación de la capacidad de bio- o adsorción de azul de cresil brillante por diferentes compuestos

Adsorbente	Q_m (mg/g)	Referencia
<i>Fucus vesiculosus</i>	787.40	Este estudio
Hidrogeles acrílicos incorporados en carboximetilcelulosa	209.33	(Mandal & Ray, 2016)
Tierra de blanqueo regenerada	260.80	(Shehab <i>et al.</i> , 2019)
Mezcla ácida de residuos provenientes destilación de tereftalato de dimetilo.	28.2	(Güçlü, 2010)
Resina recubierta de nanopartículas de níquel/boruro de níquel.	88.50	(Çinar <i>et al.</i> , 2018)
Arcilla natural	42.00	(Iyim & Güçlü, 2009)
Rocas de sílice	33.22	(Rassol <i>et al.</i> , 2020)
Resina de fenol-formaldehído sulfonada	108.00	(Iyim <i>et al.</i> , 2008)
Aserrín	20.41	(Elhami <i>et al.</i> , 2011)
Hojas de <i>Tamarix aphylla</i>	121.35	(Ackacha & Drmoon, 2012)

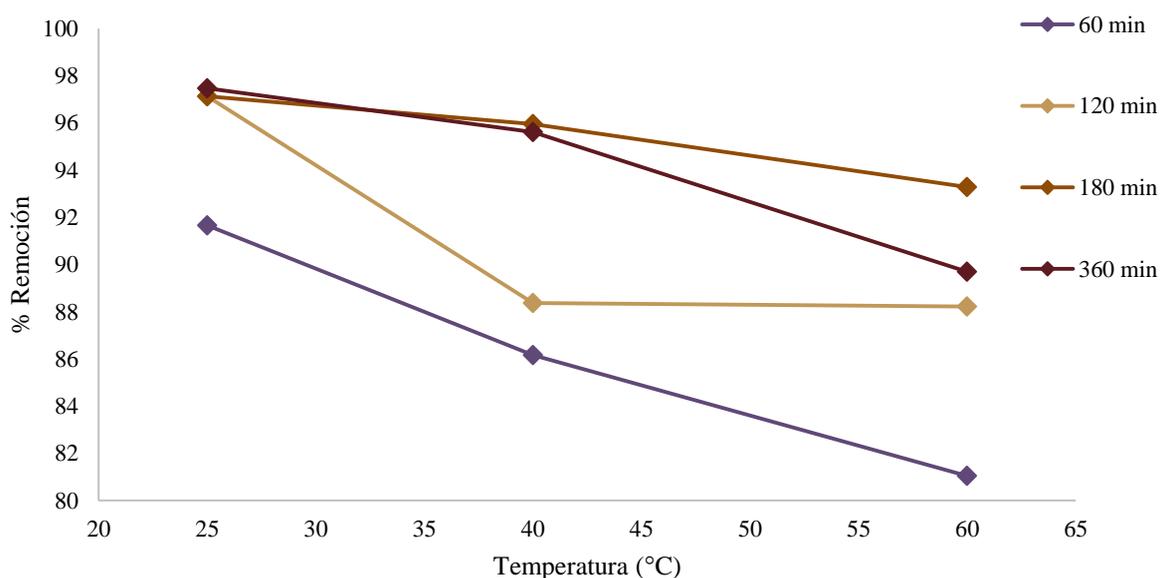
3.4 Efecto pH

La Figura 9 muestra el efecto del pH sobre la eficiencia de la remoción del colorante azul de cresil brillante por *Fucus vesiculosus*. Los valores de 32.18 % y 58.57 son los más bajos en cuanto a la eficiencia de la remoción del color y se obtuvieron a un pH de 2. Con un aumento de 2 unidades de pH se obtuvieron valores por arriba del 50 %, es decir a un pH 4. Mientras que a pH 7 y 8, se obtiene un 80 % de eficiencia de la remoción. El valor más alto de eficiencia de remoción fue de 99.29 % a pH=8. Por lo tanto, la eficiencia de la remoción del color se incrementa conforme se incrementa el valor de pH de la solución. Lo anterior, se puede explicar con base en el valor del pH_{PZC} del alga *Fucus vesiculosus* (5.6), ya que la superficie del alga se encuentra cargada negativamente y se favorece la adsorción de cationes, en este caso el colorante azul de cresil brillante es un colorante catiónico (Figura 1). Un comportamiento parecido se encontró para la remoción del colorante azul de cresil brillante por resina recubierta de nanopartículas de níquel/boruro de níquel, aumentando la eficiencia de la remoción con el incremento del pH en un intervalo de 3 y 10, siendo de 87 a un 95 % de remoción (Çinar *et al.*, 2018).

Figura 9 Influencia del pH sobre la adsorción de azul de cresil brillante por *Fucus vesiculosus*

3.5 Efecto temperatura

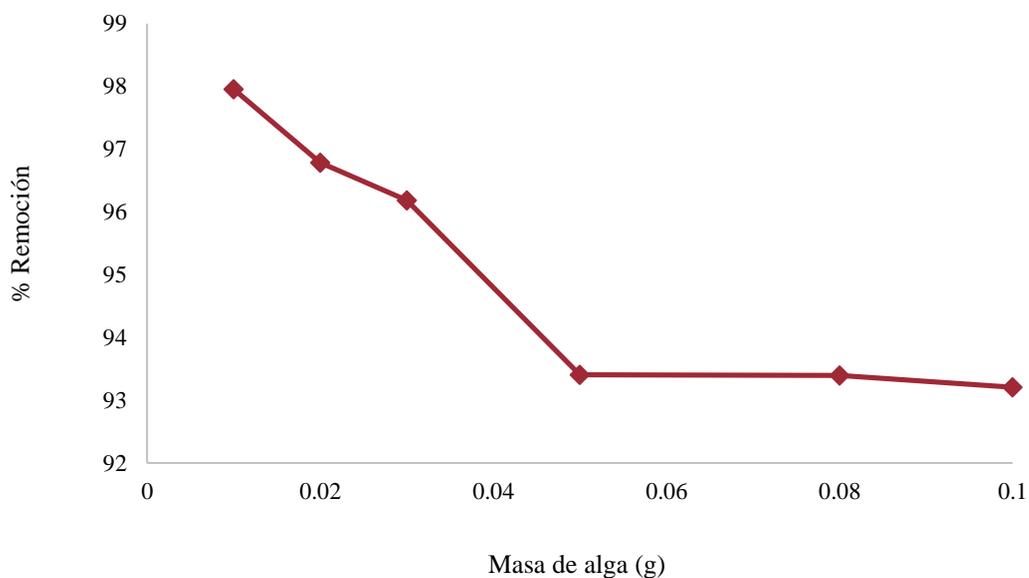
Una leve disminución en la eficiencia de remoción del colorante azul de cresil brillante conforme aumenta la temperatura se muestra en la Figura 10. La disminución de la eficiencia de remoción con el aumento de la temperatura indica que la adsorción es un proceso exotérmico (Nandi *et al.*, 2009). A una temperatura de 25 °C y aun tiempo de 60 min se obtuvo una eficiencia de remoción máxima de 91.65 %, mientras que al aumentar a 60 °C, la eficiencia disminuyó a 81.04 % un comportamiento parecido se obtuvo para el tiempo máximo de 360 min, a 25 °C, obteniéndose una eficiencia de remoción del 97.46 %, que, al aumentar la temperatura a 60 °C, la eficiencia disminuyó a 89.69 % Esto es atribuible a un debilitamiento de las fuerzas de adsorción entre los sitios activos del sorbente y la especie de colorante, y también entre las moléculas de colorante adyacentes en la fase adsorbida (Salleh *et al.*, 2011). De igual forma, los resultados obtenidos con el parámetro $n < 1$ de Freundlich se infiere que el adsorbato está ligado con energías libres cada vez más débiles. Un mecanismo convencional de sistemas de fisisorción, como el que describe la adsorción de azul de cresil brillante, indica que el aumento de la temperatura suele aumentar la tasa de aproximación al equilibrio, pero disminuye la capacidad de adsorción (Ofomaja & Ho, 2007).

Figura 10 Influencia de la temperatura sobre la adsorción de azul de cresil brillante por *Fucus vesiculosus*

3.6 Efecto masa

Un comportamiento parecido al de la temperatura resultó en el efecto de la cantidad de alga sobre la remoción del colorante (Figura 11), debido a que conforme se aumentó la masa del alga, la eficiencia de remoción fue disminuyendo. La máxima eficiencia de remoción del colorante azul de cresil brillante del 97.95 % se obtuvo con una masa de 0.01 g de alga *Fucus vesiculosus*, mientras que, con la máxima cantidad de alga, es decir, 0.1 g la eficiencia de remoción disminuyó a 93.20 %. Un comportamiento poco común, sin embargo, este caso ya ha sido reportado en otro trabajo de investigación relacionado con la adsorción del colorante amarillo-34 por aserrín de *Cedrus deodara* (Abbas & Ahmad, 2016) en el cual se atribuye a que, conforme aumenta la cantidad de adsorbente, sus partículas se aglomeran entre sí, por consiguiente disminuye la superficie disponible para la adsorción de moléculas o iones de adsorbato.

Figura 11 Influencia de la dosis de alga *Fucus vesiculosus* sobre la adsorción de azul de cresil brillante por *Fucus vesiculosus*



Agradecimientos

Se agradece al Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su apoyo con la beca nacional de maestría.

Conclusiones

El modelo de Freundlich, fue el que mejor describe la isoterma de adsorción del azul de cresil brillante por *Fucus vesiculosus*. Los parámetros obtenidos, indican que el proceso se rige por un mecanismo de fisisorción, además que las interacciones entre adsorbente y adsorbato son débiles, por lo que la adsorción es desfavorable. Los datos experimentales de la cinética de adsorción se ajustan al modelo de pseudo segundo orden, cuya capacidad de adsorción calculada es muy cercana al valor experimental y la capacidad de adsorción es mayor, en comparación con otros adsorbente o biosorbentes. Las eficiencias de remoción, en su mayoría, son mayores al 80 %. Las condiciones óptimas para la remoción del colorante son a pH=8, 25 °C y con una masa de 0.01 g del alga. Con base en los resultados, el alga *Fucus vesiculosus* es una opción viable para la remoción del colorante azul de cresil brillante.

Referencias

Abbas, M. S., & Ahmad, R. (2016). Equilibrium, kinetic and thermodynamic study of acid yellow-34 adsorption onto *Cedrus deodara* sawdust. *Desalination and Water Treatment*, 57(39), 18175–18181. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1089199>

Ackacha, M. A., & Drmoon, M. (2012). Effect of Important Selected Parameters on Adsorption Capacity of Brilliant Cresyl Blue Dye onto Novel Adsorbent: *Tamarix Aphylla* Leaves. *International Conference on Environment Science and Biotechnology*, 48(14), 71-75. <https://doi.org/10.7763/IPCBE>

- Çinar, M., İşlek Coşkun, Y., & Deniz Çift Çi, T. (2018). Removal of five cationic dyes using a resin coated with nickel/nickel boride nanoparticles. *Turkish Journal of Chemistry*, 42(2), 505–519. <https://doi.org/10.3906/kim-1706-63>
- Elhami, S., Khaloo, S., & Sharali, A. (2011). Sawdust as a natural and low cost adsorbent for the removal of brilliant cresyl blue dye from water samples. *Journal of the Iranian Chemical Research*, 4(4), 281–286. https://jicr.arak.iau.ir/article_518408_ce95a4edba8c4238a40bcbb81c7991cb.pdf
- Güçlü, G. (2010). Removal of basic dyes from aqueous solutions by dimethyl terephthalate distillation residue. *Desalination*, 259(1–3), 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.04.036>
- Hernández, K.M., Fuentes, C.E., Cano, J.R., Flores, J. & Cruz, A. (2020). Adsorción de colorantes provenientes de los residuos acuosos de la industria textil con hidróxidos dobles laminares de MgFeAl. *Universidad Autónoma Metropolitana Revista Tendencias En Docencia e Investigación En Química.*, 6(6), 571–576. https://revistatediq.azc.uam.mx/Docs/Revista_TeDIQ_2020.pdf
- Iyim, T. B., Acar, I., & Özgümüş, S. (2008). Removal of basic dyes from aqueous solutions with sulfonated phenol-formaldehyde resin. *Journal of Applied Polymer Science*, 109(5), 2774–2780. <https://doi.org/10.1002/app.28260>
- Iyim, T. B., & Güçlü, G. (2009). Removal of basic dyes from aqueous solutions using natural clay. *Desalination*, 249(3), 1377–1379. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.06.020>
- Khajavian, M., Wood, D. A., Hallajani, A., & Majidian, N. (2019). Simultaneous biosorption of nickel and cadmium by the brown algae *Cystoseria indica* characterized by isotherm and kinetic models. *Applied Biological Chemistry*, 62(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s13765-019-0477-6>
- Lebron, Y. A. R., Moreira, V. R., & Santos, L. V. S. (2019). Studies on dye biosorption enhancement by chemically modified *Fucus vesiculosus*, *Spirulina maxima* and *Chlorella pyrenoidosa* algae. *Journal of Cleaner Production*, 240 (1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118197>
- Mandal, B., & Ray, S. K. (2016). Removal of safranin T and brilliant cresyl blue dyes from water by carboxy methyl cellulose incorporated acrylic hydrogels: Isotherms, kinetics and thermodynamic study. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60(1), 313–327. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.10.021>
- Mata, Y. N., Torres, E., Blázquez, M. L., Ballester, A., González, F., & Muñoz, J. A. (2009). Gold(III) biosorption and bioreduction with the brown alga *Fucus vesiculosus*. *Journal of Hazardous Materials*, 166(2–3), 612–618. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.064>
- Nandi, B. K., Goswami, A., & Purkait, M. K. (2009). Removal of cationic dyes from aqueous solutions by kaolin: Kinetic and equilibrium studies. *Applied Clay Science*, 42(3–4), 583–590. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.03.015>
- Ofomaja, A. E., & Ho, Y. S. (2007). Equilibrium sorption of anionic dye from aqueous solution by palm kernel fibre as sorbent. *Dyes and Pigments*, 74(1), 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2006.01.014>
- Ortegón, I. & Ávila, V. (2020). Arribazón de sargazo en la península de Yucatán: ¿Problema local, regional o mundial? <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/m/i/2020/06/1319317.jpeg>
- Pratiwi, D., Poeloengasih, C. D., Suryani, R., & Rizqi, N. C. (2020). Adsorption of basic dye methylene blue by brown algae *Sargassum duplicatum*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 462(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/462/1/012038>
- Rassol, A. A., Kareem1, A., Mohammed, A. J., & Kareem, A. (2020). Removal of Brilliant Dyes from its Aqueous Solution by Adsorption on Siliceous Rocks Correspondence. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 11(4), 725–730. <https://www.sysrevpharm.org/articles/removal-of-brilliant-dyes-from-its-aqueous-solution-by-adsorption-on-siliceous-rocks.pdf>

- Salleh, M. A. M., Mahmoud, D. K., Karim, W. A. W. A., & Idris, A. (2011). Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review. *Desalination*, 280(1-3), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.07.019>
- Santos, S. C. R., Ungureanu, G., Volf, I., Boaventura, R. A. R., & Botelho, C. M. S. (2018). Macroalgae Biomass as Sorbent for Metal Ions. *Biomass as Renewable Raw Material to Obtain Bioproducts of High-Tech Value*, 1(1), 69-111. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63774-1.00003-X>
- Schwarzenbach, R. P., Gschwend, P. M., & Imboden, D. M. (2003). *Environmental organic chemistry* (Second, Vol. 1). John Wiley & Sons.
- Sembiring, Z. (2006). Biosorption of metal ions *Pb(II)*, *Cu(II)*, AND *Cd(II)* on *Sargassum duplicatum* immobilized silica gel matrix. *Indonesian Journal of Chemistry*, 6(3), 245-250. <https://doi.org/10.22146/ijc.21726>
- Shehab, A. I., Abdel Basir, S. M., Abdel Khalek, M. A., Soliman, M. H., & Elgemeie, G. (2019). Dye Removal from Aqueous Solution by Regenerated Spent Bleaching Earth. *International Journal of Chemical and Materials Engineering*, 13(9), 452-461. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3461952>
- Villamar, Á., & Carretero, E. (2004). Fucus. *Farmacia Profesional*, 18(4), 76-80. <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-pdf-13061370>
- Yadav, M., Thakore, S., & Jadeja, R. (2022). Removal of organic dyes using *Fucus vesiculosus* seaweed bioadsorbent an ecofriendly approach: Equilibrium, kinetics and thermodynamic studies. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 4(1), 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.12.003>