

Modelo de Thomas para la cinética de adsorción del azul de metileno mediante el residuo del fruto de encino

Thomas model for methylene blue adsorption kinetics using oak fruit residue

DOI: 10.46932/sfjdv3n4-092

Received in: April 14th, 2022

Accepted in: June 30th, 2022

Erika García Domínguez

Maestra en Ciencias

Institución: Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso

Dirección: Avenida Instituto Tecnológico, S/N, San Felipe del Progreso, Estado de México

Correo electrónico: erik_gdominguez@yahoo.com.mx

Rosalba Ramirez Noriega

Maestra en Ciencias de la Educación

Institución: Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso

Dirección: Avenida Instituto Tecnológico, S/N, San Felipe del Progreso, Estado de México

Correo electrónico: rosalba.rn@sfelipeprogreso.tecnm.mx

Judith López Villanueva

Ingeniera Química

Institución: Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso

Dirección: Avenida Instituto Tecnológico, S/N, San Felipe del Progreso, Estado de México

Correo electrónico: judith_lopez1992@hotmail.com

Rigoberto Barrios Francisco

Doctor en Ciencias Químicas

Institución: Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso

Dirección: Avenida Instituto Tecnológico, S/N, San Felipe del Progreso, Estado de México

Correo electrónico: barrios.tessfp@gmail.com

RESUMEN

Se construyó el modelo de Thomas mediante la cinética de adsorción del colorante Azul a través de residuos de la biomasa del fruto de encino. Se emplearon residuos del fruto de encino para evaluar su capacidad de adsorción mediante la remoción de Azul de Metileno (AM). Los experimentos se realizaron tipo batch, se utilizaron dos tamaños de partícula de 30 y 40 respectivamente; se colocaron en agitación (300 rpm), 15, 30, 60, 90, 120 y 150 minutos mediante una solución a una concentración de 60 ppm de A.M, se pusieron en contacto la solución de azul de metileno con 1 g de biomasa durante estos intervalos de tiempo. Después del tiempo de contacto se las soluciones de AM filtraron, se utilizó un espectrofotómetro UV-V (longitud de onda: 400-700 nm) para leer la concentración final. Los resultados mostraron que con la malla 30 a los 90 minutos se logró remover un total de $0.54572 \frac{mg AM}{g biomasa}$ y con la malla 40 al tiempo 60 minutos se logró remover un total de $0.144126 \frac{mg AM}{g biomasa}$. Con el resultado del modelo de Thomas se establecerán los parámetros para el diseño de una columna de lecho empacado fija para emplearse en la adsorción de colorantes sintéticos, por lo que dicho material puede ser empleado en futuras pruebas a nivel piloto para verificar el escalamiento de procesos de disminución de descontaminación agua.

Palabras clave: fruto de encino, cinética, colorante azul de metileno.

ABSTRACT

The Thomas model was constructed using the kinetics of Blue dye adsorption through oak fruit biomass residues. Oak fruit residues were used to evaluate their adsorption capacity through the removal of methylene blue (MB). The experiments were carried out batch type, using two particle sizes of 30 and 40 respectively; they were placed in agitation (300 rpm), 15, 30, 60, 60, 90, 120 and 150 minutes using a solution at a concentration of 60 ppm of M.A., the methylene blue solution was put in contact with 1 g of biomass during these time intervals. After the contact time the MA solutions were filtered, a UV-V spectrophotometer (wavelength: 400-700 nm) was used to read the final concentration. The results showed that with the 30 mesh at 90 minutes a total of 0.54572 (mg AM)/(g biomass) was removed and with the 40 mesh at 60 minutes a total of 0.144126(mg AM)/(g biomass) was removed. With the result of the Thomas model, the parameters for the design of a fixed packed bed column to be used in the adsorption of synthetic dyes will be established, so that this material can be used in future tests at pilot level to verify the scaling up of water decontamination reduction processes.

Keywords: oak fruit, kinetics, methylene blue dye.

1 INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua es debido al incremento de los contaminantes provenientes de las actividades antropogénicas y que se ha convertido en problemas ambientales que afecta a todo ser vivo y que el hombre busca solucionar.

Hoy en día existen normas y leyes ambientales, relacionadas a proteger, conservar y mejorar la calidad de aguas residuales sobre las descargas de actividades industriales y urbanas; que en muchos casos, son reutilizadas en la agricultura, es así, como se han realizado investigaciones en busca de alternativas viables para la depuración de elementos tóxicos presentes en el medio acuoso y al mismo tiempo reducir el impacto ambiental .

Se han implementado métodos convencionales para remover metales pesados de las aguas industriales, algunos son: precipitación, tratamiento electroquímico, separación por membrana, evaporación y coagulación, entre otros. Sin embargo, al poseer altos costos, alta producción de lodos y remoción incompleta resultan inefectivos y desfavorables. Por tal razón, se han experimentado nuevas tecnologías sostenibles para la remoción de metales, de manera que reemplacen los métodos convencionales de tratamiento de efluentes industriales por medio del uso de residuos agrícolas como bioadsorbentes de bajo costo, eficientes y reutilizables.

Con el fin de reducir los costos operativos y mejorar los tiempos de operación del proceso de tratamiento, muchos estudios se han llevado a cabo mediante el uso de residuos de origen natural.

La bioadsorción es una técnica que involucra el uso de biomasa o sustrato natural para la adsorción de metales, algunos de éstos son despojos agrícola, microorganismos, caseína, entre otros, cuya capacidad depende en gran medida de la naturaleza de la biomasa utilizada. Esta técnica de separación ha sido

estudiada en las últimas décadas como una alternativa promisoría para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, al lograr remover altos porcentajes de iones metálicos y poseer bajos costos.

La contaminación por colorantes constituye un problema crítico y por ello es importante la búsqueda de alternativas para su solución. Debido a su compleja estructura química y origen sintético, los colorantes son resistentes a la degradación por exposición a la luz, al calor, al agua y a los detergentes.

Hay varios métodos reportados para la eliminación de colorantes en aguas residuales y estas tecnologías se pueden dividir en tres importantes categorías: los métodos químicos, biológicos y físicos. Sin embargo todos ellos tienen ventajas y desventajas, pero principalmente, por razones de costo y problemas de disposición que conducen a la generación de lodos o la formación de subproductos. Por lo que se buscan alternativas sustentables como los residuos del fruto del encino.

Se ha evaluado la eficiencia de adsorción de la biomasa del fruto del encino en base seca, mediante el diseño de una columna de lecho empacado a tres arreglos diferentes (membrana-biomasa), utilizando como medio disoluciones de colorantes de rojo congo y azul de metileno, con un 95% de retención de los colorantes (García D. E y col., 2018).

Actualmente una gran variedad de modelos matemáticos han sido usados para describir y predecir las curvas de ruptura de una columna de adsorción en sistemas de fase líquida. El Modelo de Thomas (Th) fue desarrollado para describir el desempeño de una columna de intercambio catiónico para el caso en el que la velocidad de intercambio es determinada por una velocidad de segundo orden.

2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

2.1 OBTENCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA BIOMASA DEL FRUTO DE ENCINO

La obtención de los residuos del fruto de encino se recolectaron en el municipio de San Felipe del Progreso, Edo. México. Posteriormente se le dio un tratamiento de lavado, secado a temperatura ambiente, después se molió en un molino de disco y por último se obtuvo el tamaño de partícula de 30 y 40 (μ) mediante el análisis tamizado (figura 1).



2.2 PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN ESTÁNDAR

Se pesaron 0.1 g del colorante azul de metileno (AM), aforado a 1000 mL con agua destilada. De la solución estándar del colorante AM, se tomaron alícuotas de 100 mL y se diluyó en agua destilada, de esta nueva solución se encuentra a una concentración de 100 ppm, de esta se realizan diluciones a 30, 60, y 100 ppm. Posteriormente se configura el equipo espectrofotometría UV-vis para obtener la curva de calibración, se realizan las mediciones de cada dilución (ver figura 2) y se analizan los datos obtenidos y se grafican.

Figura 2. Soluciones de AM.



2.3 EVALUACIÓN DE LA BIOMASA DE LA CORTEZA DE ENCINO

En un vasos de precipitado de 150 mL se vertió un volumen de 100 mL de azul de metileno, a cada vaso se agrego 1g de biomasa de encino de cada tamaño de partícula 30 y 40 respectivamente.

Posteriormente se colocó en agitación en un electronic stirrer a 300 rpm a temperatura ambiente ($25 \pm 1^\circ\text{C}$), a diferentes intervalos de tiempo, iniciando con un tiempo de 15, 30, 60, 90, 120 y 150 minutos. Después de cada uno de los tiempos transcurridos se filtraron con papel filtro wattman #40 las muestras con el colorante y la biomasa. Las muestras filtradas se leyeron en el espectrofotómetro UV-vis en un rango de longitud de onda de 400-700 nm. Cada uno de los tratamientos se realizó por triplicado. Se realizó lo mismo para cada una de las soluciones restantes (60 y 100 ppm).

2.4 MODELO DE ISOTERMA DE LANGMUIR

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K \cdot Q^0} + \frac{C_e}{Q^0} \dots \dots \dots \text{Ec. 1}$$

Donde:

q_e = cantidad de soluto adsorbido por peso unitario de adsorbente (mg/g)

Q^0 =cantidad de soluto adsorbido que forma una monocapa por peso unitario de adsorbente (mg/g)

K = energía de adsorción (l/mg)

2.5 MODELO DE THOMAS

Se realiza mediante la siguiente ecuación

$$\frac{C}{C_i} = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{K_{Th}}{Q} (q_0 \cdot w - C_i \cdot v_{ef})\right)}} \dots \dots \dots \text{Ec. 2}$$

Donde

K_{Th} es la constante cinética (mL/min*mg)

W es la masa de adsorbente en la columna (g)

C es la concentración inicial del efluente (mg/L)

C_i es la variación de la concentración del efluente en el tiempo (mg/L)

v_{ef} es caudal de entrada (mL/g)

q_0 cantidad absorbida por gramo de adsorbente (mg/g)

3 COMENTARIOS FINALES

3.1 RESUMEN DE RESULTADOS

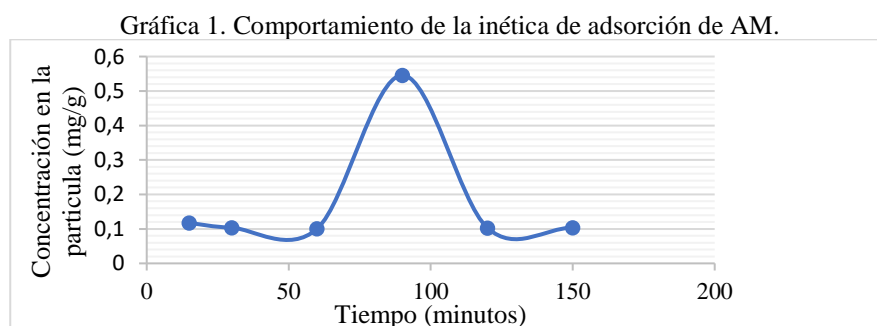
Los resultados obtenidos a los siguientes tiempos demostraron que la adsorción de la disolución de AM a concentración 60 ppm mediante en contacto con la biomasa durante estos intervalos de tiempo. Estos resultados se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Datos de la cinética de adsorción AM.

Tiempo (minutos)	Concentración de AM con la biomasa ($\frac{mg}{g}$)
15	0.1171
30	0.1034
60	0.1005
90	0.5457
120	0.1027
150	0.1036

En la gráfica 1, se presenta el comportamiento de cada datos de la tabla 1, donde se observa que la remoción de azul de metileno tiene un comportamiento bajo en los primeros tiempos de contacto con la biomasa, presentandouna mayor adsorción a los 90 minutos logrando remover un total de 0.54572

$$\frac{mg \text{ AM}}{g \text{ biomasa}}$$



3.2 MODELO DE THOMAS

Cuando la adsorción se ha completado y se alcanza el equilibrio, la relación entre la concentración del adsorbato y adsorbente con el que está en equilibrio a T constante se denomina isoterma de adsorción

Isoterma de Langmuir

Para el azul de metileno C_0 está dada por la lectura de la solución antes del contacto obtenido por la cinética.

C_e es el valor de adsorbato por unidad de peso del adsorbente después del contacto.

Isoterma de Langmuir para un tiempo de 90 minutos, datos al cual se obtuvo la mayor adsorción. En la tabla 2, se presentan los resultados para la construcción de la Isoterma de Langmuir obtenidos con la ecuación 2.

Tabla 2. Datos de concentración inicial y final para el isoterma.

$C_0 \left(\frac{mg}{L}\right)$	$C_e \left(\frac{mg}{L}\right)$
10.352	1.171
10.77	1.10343
10.659	1.005
10.735	5.4572
10.471	1.027
10.904	1.0361

En la tabla 3, se muestran los datos obtenidos de la isoterma de Langmuir para azul de metileno

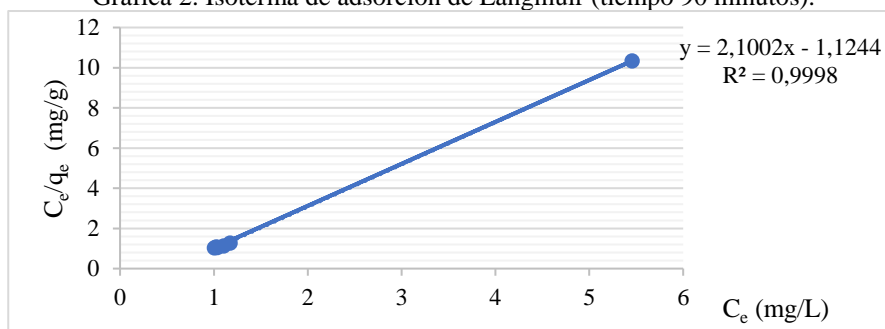
Tabla 3. Datos de Isotermas de Langmuir (90 minutos).

q_e	$\frac{C_e}{q_e}$
0.9181	1.2754
0.9666	1.1414
0.9654	1.0410
0.5277	10.3399
0.9444	1.0874
0.9867	1.0499

Al gráficar $\frac{C_e}{q_e}$ contra C_e obtenemos la isoterma donde se puede calcular la capacidad de adsorción.

A continuación se muestra la isoterma teniendo como resultado favorable una adsorbancia sin perturbaciones.

Gráfica 2. Isoterma de adsorción de Langmuir (tiempo 90 minutos).



Con la pendiente de la isoterma se obtiene $m=2.3057$ y $b=1.4216$. De acuerdo con la ecuación de regresión lineal que se encuentra en la gráfica 2, se puede encontrar a K y Q^0 .

Entonces tenemos:
$$Q^0 = \frac{1}{m} = \frac{1}{2.1002} = 0.47614513 \frac{mg \text{ AM}}{g \text{ biomasa}}$$

$$K = \frac{1}{(b * Q^0)} = \frac{1}{(1.1244 * 0.47614513)} = 1.867884063 \frac{l}{mg}$$

Las características esenciales de las isotermas de langmuir pueden ser expresadas en términos de un parámetro de equilibrio adimensional (R_L) (Giraldo, 2008)

$$R_L = \frac{1}{1 + bC_0} \dots \dots \dots Ecu 5$$

Donde
 b es la constante de langmuir
 C₀ es la concentración mas alta de AM en mg/l
 El valor de R_L indica que tipo de isoterma puede ser

$R_L > 1$ desfavorable $R_L = 1$ lineal $0 < R_L < 1$ favorable $R_L = 0$ irreversible

Entonces la ecuación 5 queda para el modelo de Thomas:

$$R_L = \frac{1}{1 + (1.1244 * 10.904)} = 0.07541218$$

$0 > 0.07541218 > 1$

Para la malla 40, de igual manera se tomaron los mismos tiempos a 15, 30, 60,90, 120 y 150 minutos mediante una solución a una concentración de 30 ppm de A.M, se pusieron en contacto la solución de AM y la biomasa durante estos intervalos de tiempo (tabla 4).

De acuerdo a los datos obtenidos, se observa que la remoción de AM a los 60 minutos remueve un total de $0.144126 \frac{mg \text{ AM}}{g \text{ biomasa}}$

Tabla 4. Datos de la cinética de adsorción AM (60 minutos)

Tiempo (minutos)	Concentración de AM con la biomasa ($\frac{mg}{g}$)
15	0.0880
30	0.0945
60	0.1441
90	0.1076
120	0.1167
150	0.1448

Isoterma de Langmuir para la malla 40 a 60 minutos

Los resultados para la construcción de la isoterma de Langmuir se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Datos de concentración inicial y final para el isoterma.

C_0 ($\frac{mg}{L}$)	C_e ($\frac{mg}{L}$)
5.384	0.8808
5.392	0.9456
5.7615	1.4412
6.0478	1.0763
6.4853	1.1674
5.9212	1.4483

La isoterma de Langmuir se obtiene graficando $\frac{C_e}{q_e}$ y C_e

En la tabla 6, se muestran los datos obtenidos de la isoterma de Langmuir para azul de metileno

Tabla 6. Datos de Isotermas de Langmuir (60 minutos).

q_e	$\frac{C_e}{q_e}$
0.4503	1.9561
0.4446	2.1268
0.4320	3.3360
0.4971	2.1649
0.5317	2.1952
0.4472	3.2379

Al graficar $\frac{C_e}{q_e}$ contra C_e obtenemos la isoterma donde se puede calcular la capacidad de adsorción.

Con la pendiente de la isoterma podemos obtener $m=2.4067$ y $b=0.2888$. de acuerdo con la ecuación de regresión lineal se encontró a K y Q^0 .

Entonces se tiene:
$$Q^0 = \frac{1}{m} = \frac{1}{2.4067} 0.41550671 = \frac{mg \text{ AM}}{g \text{ biomasa}}$$

$$K = \frac{1}{(b * Q^0)} = \frac{1}{(0.2888 * 0.44550671)} 8.33344875 = \frac{l}{m.g}$$

$$R_L = \frac{1}{1 + (0.2888 * 5.9212)} = 0.3689978$$

$$0 > \mathbf{0.3689978} > 1$$

La biomasa del fruto del encino presento ser un material bioadsorbente, tal y como se mostró en una investigación con el estudio del comportamiento de residuos de corteza de encino en su capacidad de adsorción mediante la remoción de Azul de Metileno y Rojo Congo. Los resultados mostraron que la biomasa adsorbió una concentración de 30 mg/L del RC representando 70% de remoción. Para el AM la biomasa adsorbió una concentración de 30 mg/L, obteniendo un 50% de remoción (García D. E. y col., 2018).

4 CONCLUSIONES

El estudio por lotes demuestra que entre la malla 30 y 40 fueron las mas representativas en esta investigación, sin embargo fue más eficaz la malla 30 debido a que la corrección lineal fue de $R^2=0.9998$ para la isoterma de Langmuir. Partiendo de la malla 30, el estudio se realizó a 3 concentraciones (30, 60, 100 ppm) siendo la concentración de 60 ppm más efectiva para la cinética de adsorción dando una $R^2=0.9998$, lo que indica que la biomasa que se utilizó puede considerarse como un material adsorbente para el colorante AM.

Los valores obtenidos de RL de los isotermas con las mallas 30 y 40 de acuerdo a los resultados indican que son favorables para elaborar el modelo de Thomas para a futuro emplearlos en el escalamiento de las columnas de lecho fijo.

Por lo que la biomasa del fruto del encino se puede considerar como un biomaterial con características adsorptivas en disoluciones de colorantes sintéticos.

RECOMENDACIONES

La investigación a continuar se puede concentrar en el modelo de Modelo de Yoon-Nelson para completar el escalamiento del proceso mediante columnas de lecho fijo y demostrando que la eficiencia requerida o esperada sea ideal. También adecuar las variables de operación como son los flujos de entrada y el estado al que se deben manipular dichas columnas con la biomasa en estudio.

REFERENCIAS

Garcia D. E., Garcia L. M, y Moreno R. G. Remoción de colorantes sintéticos mediante una columna de adsorción empacada con biomasa del fruto de encino. Revista “Ciencia y algo más...” No. 6 Año 4 Julio-septiembre 2018 ISSN 2007-8161. Pp. 18-23. Dirección web: cienciayalgomas100.wixsite.com/ciencia

García D. E., Reyes V. I., Sánchez S. C., Ramírez N. R., Barrios F. R. Evaluación de la Biomasa de encino (*Quercus*) en los procesos de adsorción. Congreso Internacional de Investigación de Academia Journals, Celaya 2018, México. Del 7 al 9 de noviembre. Publicado en el portal de internet celaya.academiajournals.com Memoria ONLINE con ISSN 1946-5351, Vol. 10, No. 8, 2018 y Libro digital con número de registro ISBN 978-1-939982-42-1. Pag. 1863-1866.

Gutierrez, Bonilla Elvira. (2013). Adsorción de iones Cr (VI) Y Co (II) presentes en soluciones acuosas sobre cascara de huevo. Tesis profesional, Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso.