Estudio de las condiciones óptimas para la adsorción de azul de metileno sobre el meollo del bagazo de la caña de azúcar

Daisy Dopico-Ramírez[1*], Cristina Díaz-López[2], Vivian León-Fernández[1], Amalia Cámara-Pérez[1], Alain Trujillo-del Bosque[2] y Ana Nelis San Juan-Rodríguez[1]

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba. daisy.dopico@icidcamy.azcuba.cu
2. Facultad de Química, Universidad de La Habana. San Lázaro y L. Plaza de la Revolución. La Habana, Cuba.

RESUMEN

En los últimos tiempos, se ha extendido la utilización de nuevas tecnologías sostenibles para la remoción de contaminantes, para reemplazar los métodos convencionales de tratamiento de efluentes industriales, por medio del uso de residuos agrícolas como biosorbentes de bajo costo. El objetivo del presente trabajo es evaluar la potencialidad del meollo, que proviene del desmedulado del bagazo de caña, para la adsorción de Azul de metileno en solución, como estrategia de disminución de la carga contaminante que se vierte a las fuentes hídricas. Las condiciones experimentales optimizadas fueron de 2 g/L de adsorbente, un tiempo de contacto de 30 minutos, velocidad de agitación de 100 rpm, temperatura de 30 °C y pH 8. La capacidad máxima de adsorción obtenida fue de 103.74 mg/g. El sistema meollo-azul de metileno se ajusta al modelo cinético de pseudo segundo orden y la difusión intraparticular no es la etapa limitante del proceso de adsorción. Los resultados obtenidos sugieren que el meollo es un adsorbente eficaz para la remoción de Azul de metileno en solución acuosa, por lo que podría ser útil en los procesos para el tratamiento de residuos industriales que contengan este tipo de contaminantes.
Palabras clave: meollo del bagazo de la caña de azúcar, adsorción, azul de metileno.

ABSTRACT

In recent times, the use of new sustainable technologies for the removal of pollutants has been extended, so as to replace conventional methods of industrial effluent treatment through the use of agricultural waste as low-cost biosorbents. The objective of the present work was to evaluate the potential of the bagasse pith, coming from the depithing of the cane bagasse, for the adsorption of Methylene blue in solution, as a strategy of diminishing the polluting load that is poured to the water sources. The optimized experimental conditions were 2 g/L of adsorbent, a contact time of 30 minutes, stirring speed of 100 rpm, temperature of 30 °C and pH 8. The maximum adsorption capacity obtained was 103.74 mg/g. The bagasse pith-blue methylene system conforms to the kinetic pseudo second order model and intraparticular diffusion is not the limiting stage of the adsorption process. The results obtained suggest that the pith is an effective adsorbent for the removal of methylene blue in aqueous solution, so it could be useful in the processes for the treatment of industrial waste containing this type of contaminants.
Key words: sugar cane bagasse pith, adsorption, Methylene blue.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua es uno de los aspectos más preocupantes de la degradación de los medios naturales, por la civilización contemporánea, se considerado un problema universal (1, 2). La presencia en el agua, de colorantes, generalmente orgánicos, disminuye la solubilidad del oxígeno disuelto, la transparencia y la penetración de la radiación solar, que afecta la vida acuática y la cadena trófica. Estas sustancias, en su gran mayoría, son tóxicas, carcinogénicas y mutagénicas, y provocan efectos indeseables en los organismos acuáticos y en el hombre (3).

En los últimos años, se han extendido nuevas tecnologías sostenibles para la remoción de contaminantes en general, para reemplazar los métodos convencionales de tratamiento de efluentes industriales, por medio de residuos agrícolas como biosorbentes de bajo costo, eficientes y reutilizables. En este sentido, la biosorción constituye una alternativa promisoria para el tratamiento de aguas contaminadas (4,5).

Los residuos agroindustriales, generalmente desechados, son una fuente renovable de biomasa lignocelulósica, que debieran utilizarse en mayor proporción, el meollo del bagazo de la caña de azúcar es uno de ellos. Este material proviene del desmedulado del bagazo, para la producción de pulpa química y otros derivados, se recomienda eliminarlo porque produce afectaciones tecnológicas durante los procesos productivos en los que se involucra al bagazo, como materia prima (6).

A pesar de que se han realizado estudios para su utilización (7-9), estos aún son insuficientes y el meollo sigue quedando como un residuo difícil de disponer. Además, su combustión para obtener energía es costosa, por el elevado contenido de humedad.

En este trabajo, se escogió al Azul de metileno (AM), como un compuesto modelo *target contaminant*, con el objetivo de evaluar las potencialidades del meollo para remover colorantes en solución acuosa, y se tomaron, como punto de partida, los antecedentes de la literatura que lo refieren como el compuesto más usado, para estudiar el tratamiento de aguas coloreadas y residuales del teñido de algodón y seda (10-12).

Además, en una revisión realizada por Mohammed (13), se considera que el AM puede ser removido por cáscaras, semillas, tallos, hojas, raíces y frutos de varios biosorbentes, tales como: guayaba, coco, bagazo de caña, melón de agua, plátano, residuos de té, ajo, dátil, maíz, arroz, soya, fruta bomba, sésamo y palma.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la potencialidad del meollo, proveniente del desmedulado del bagazo de caña, para la adsorción de AM en solución, como estrategia de disminución de la carga contaminante, que se vierte a las fuentes hídricas.

MATERIALES Y METODOS

El meollo que se utilizó en la investigación tiene similares características que el reportado en anterior publicación (14).

Para llevar a cabo el estudio de adsorción, se preparó una solución inicial de AM 1 g/L y a partir de esta se realizaron las diluciones correspondientes. Todos los experimentos se realizaron por duplicado y se tomó, para el análisis de los resultados, la media de los valores obtenidos.

Los ensayos de adsorción fueron realizados en modo de lote, se utilizaron frascos Erlenmeyer de 250 mL, que se colocaron en una Zaranda Incubadora GFL 3033, con control de temperatura y velocidad de agitación. Transcurrido el tiempo prefijado para que se alcanzara el equilibrio, se determinó la concentración final de AM en solución, previa filtración, a través de un crisol de vidrio poroso Número 1.

Para determinar la concentración final en solución del AM, se utilizó un espectrofotómetro Kruss 6500 y se midió la absorbancia a 663 nm, que fue la longitud de onda de máxima absorción para el

AM. Fueron procesados, simultáneamente, controles negativos (sin biomasa), así como controles sin AM (agua destilada al pH de trabajo); los primeros, con el objetivo de descartar interferencias causadas por la adsorción en el recipiente utilizado y la posible presencia de impurezas en el AM; y los segundos, con la finalidad de evaluar y considerar las interferencias causadas por la absorción de la fracción soluble del meollo a la longitud de onda seleccionada. Se realizaron las curvas de calibración, a pH de la solución acuosa de AM y pH 8, en el intervalo de concentraciones de 1-6 mg/L.

La capacidad de adsorción del adsorbente se calculó mediante la expresión:

$$qe = \frac{V * (C_i - C_f)}{m}$$

Donde:
qe - Capacidad de adsorción (mg/g).
V - Volumen de la solución puesta en contacto con el adsorbente (L).
m - Masa de meollo empleada (g).
C_i - Concentración inicial de la solución de AM (mg/L).
C_f - Concentración final de la solución de AM (mg/L).

El porciento de remoción de AM sobre el meollo se calculó a partir de la siguiente expresión:

$$\% R = \frac{(C_i - C_e)}{C_i} * 100$$

Donde:
% R- Porciento adsorbido por el meollo, se tomó como referencia la concentración inicial de AM, puesta en contacto con el adsorbente.
C_i- Concentración inicial de la solución de AM (mg/L)
C_e- Concentración en el equilibrio de la solución de AM (mg/L)

Efecto del pH. Durante este estudio se varió el pH en el intervalo de 3-11, con la ayuda de un potenciómetro (*Hanna instruments*) y con el auxilio de soluciones de HCl 0.1 N y NaOH 0.1 N. La temperatura (30 ºC), agitación (100 rpm), dosis de adsorbente (1 g/L), y concentración inicial de AM (50 mg/L) se mantuvieron constantes, durante el tiempo prefijado, para que se alcanzara el equilibrio (2 h).

Dependencia de la dosis de adsorbente. Se investigó el efecto de la dosis del biosorbente en la remoción del colorante, variando su concentración de 0.5 a 5 g/L, se mantuvieron constantes: concentración inicial de AM 50 mg/L, pH=8, temperatura 30 ºC y velocidad de agitación 100 rpm, hasta alcanzar el equilibrio (2 h).

Cinética de adsorción. Para evaluar la cinética de la adsorción se midió la concentración de AM en solución a los 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 80, 90, 100, 110, 120 y 130 min, manteniéndose constantes el pH=8, temperatura 30 ºC, dosis de adsorbente 2 g/L y velocidad de agitación 100 rpm.

Efecto de la concentración inicial de AM. Las isotermas de adsorción fueron obtenidas a partir de datos experimentales en el equilibrio. Una masa de 2 g/L de meollo, se añadió en los Erlenmeyer que contenían soluciones de AM con concentraciones: 10, 25, 50, 75, 100, 200, 300, 400 mg/L. Los recipientes se mantuvieron en agitación a 100 rpm, a pH=8 y temperatura de 30 *ºC*, durante 60 min.

Determinación del efecto de la fuerza iónica sobre la remoción de AM. Para determinar el efecto de la fuerza iónica sobre el proceso de adsorción se ensayaron diferentes concentraciones de NaCl: 0.001-0.005-0.01-0.05 y 0.1 N. Se mantuvieron constantes el resto de los parámetros: pH=8, dosis de adsorbente 2 g/L, concentración inicial de AM 50 g/L, temperatura 30 *ºC* y velocidad de agitación 100 rpm, durante 60 min.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia del pH en la adsorción de AM sobre el meollo

El pH del medio es uno de los factores más importantes que intervienen en la adsorción de contaminantes en soluciones acuosas, este parámetro influye en el grado de ionización de las especies del adsorbato, así como en la carga superficial del adsorbente. Por esta razón, los experimentos de adsorción a diferentes valores de pH pueden reflejar la naturaleza de la interacción físico-química meollo-AM.

Para realizar el estudio de pH, los valores de la concentración de AM en el equilibrio se determinaron mediante el método espectrofotométrico, y se emplea la curva de calibración en un intervalo de concentración de 1-6 mg/L, como método de cuantificación.

En la figura 1 se presenta la capacidad de adsorción (qe) y el porciento de remoción (% R) del meollo en función del pH del medio (3-11), manteniendo constantes: dosis de adsorbente 1 g/L, temperatura 30 ºC, tiempo de contacto 130 min, concentración inicial de AM 50 mg/L y velocidad de agitación 100 rpm. Como se puede observar, a pH 3 se obtiene la menor capacidad de adsorción y porciento de remoción, lo que puede ser atribuido a que, a estos valores de pH, existe una mayor competencia entre los iones hidronio y los cationes de AM, por los sitios de adsorción en la superficie del biosorbente. La cantidad de AM removida aumenta a medida que el pH se incrementa, se encuentran valores similares a pH mayores que 6 y llegando a valores máximos a pH > pHpcc. Esto puede explicarse por la posible influencia de las interacciones entre el AM (básico) y la superficie negativamente cargada del meollo. Los colorantes básicos deben su carácter catiónico a cargas positivas deslocalizadas, a través del sistema cromofórico, y muestran afinidad hacia materiales con grupos funcionales cargados negativamente.

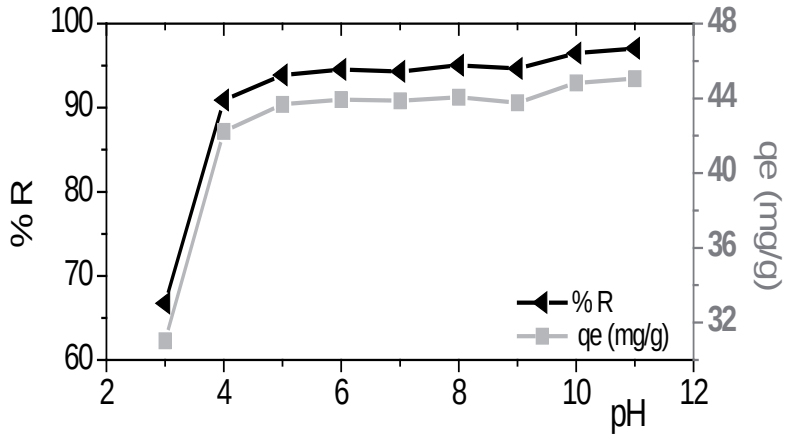

Figura 1. Adsorción de AM sobre el meollo, en función del pH.

Además, en este comportamiento también influye el hecho de que, a pH bajos, los grupos carboxílicos presentes en el meollo están en su forma ácida, sin embargo, a medida que el pH aumenta

estos grupos comienzan a ionizarse en forma carboxilato e interaccionan con las cargas positivas deslocalizadas del AM. Resultados similares se obtuvieron para: residuos de té (15), bagazo modificado (16,17). Según los resultados obtenidos, se escogió pH=8 para realizar los experimentos de adsorción.

Efecto de la dosis de adsorbente sobre el proceso de adsorción

Con el objetivo de determinar la mínima cantidad de biosorbente necesaria para alcanzar la máxima eliminación de colorante, se estudió la influencia de la dosis de adsorbente en el rango de 0.5 a 5 g/L, y se mantuvieron constantes: la concentración inicial de AM en 50 mg/L, 130 min de tiempo de contacto, velocidad de agitación 100 rpm y 30 ºC. Los resultados se muestran en la figura 2.

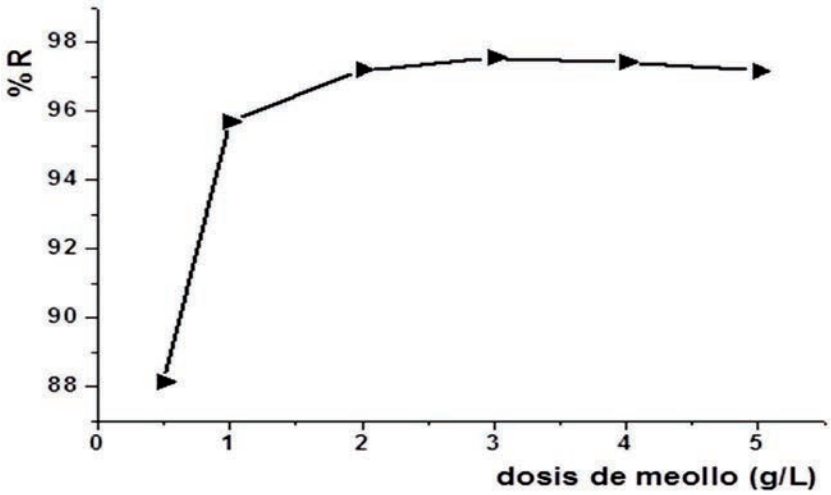

Figura 2. Efecto de la dosis de meollo sobre el proceso de adsorción de AM

Como se observa en la figura, a medida que aumenta la concentración de biosorbente, en el intervalo estudiado, se eleva el porcentaje de AM adsorbido de 88.1 % a 97.2 %; hasta alcanzar un valor, prácticamente, constante después de los 2 g/L. Este incremento en la adsorción de AM se puede explicar por el aumento de los sitios activos en la superficie del meollo para que ocurra la adsorción. El hecho de que la remoción de colorante permanezca prácticamente constante a dosis por encima de los 2 g/L puede atribuirse a que ocurre una reducción del gradiente de concentración de AM en solución, resultado semejante al obtenido por Salem (18). Dar *et al*. (19), exponen que en los experimentos de biosorción en modo lote, se forma una monocapa de adsorbato sobre la superficie del adsorbente y que la etapa limitante del proceso es la velocidad de transporte de las moléculas del adsorbato, desde la superficie hacia el interior de las partículas del adsorbente, por lo que un aumento en la dosis de adsorbente no aumenta significativamente el porcentaje de remoción, después de formarse la monocapa. De acuerdo con los resultados obtenidos, y con el fin utilizar eficientemente el meollo, se seleccionó una concentración de biosorbente de 2 g/L para los experimentos posteriores.

Efecto del tiempo de contacto en la adsorción de AM

La evaluación del efecto del tiempo de contacto necesario para alcanzar el equilibrio, como paso previo al estudio de la cinética de biosorción, es fundamental, ya que contribuye a determinar, en la mayor parte de los casos, la naturaleza del proceso de adsorción. Para estudiar el efecto del tiempo de contacto en la biosorción de AM con meollo, se realizaron experimentos con una concentración inicial de AM de 50 mg/L, una dosis de biosorbente de 2 g/L, pH 8, temperatura 30 ºC, velocidad de agitación 100 rpm, y un tiempo de contacto máximo de 130 min. Se tomaron y midieron muestras a partir de los 15 min hasta llegar a los 130 min. Los resultados se muestran en la figura 3.

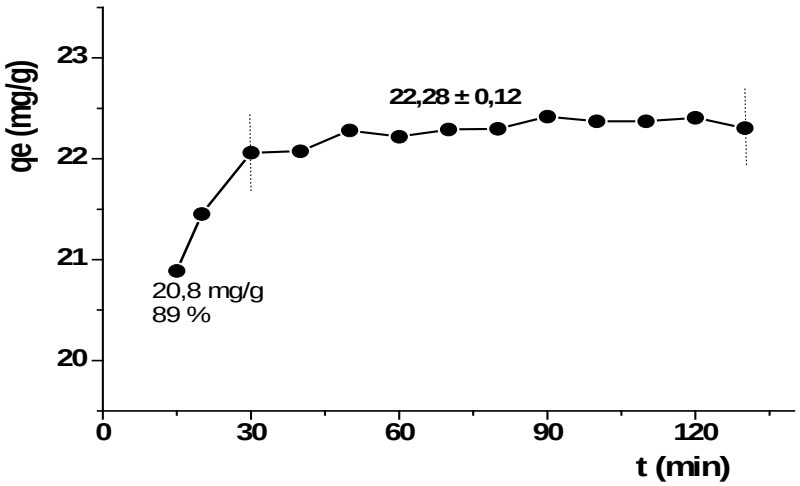

Figura 3. Efecto del tiempo de contacto sobre el proceso de biosorción.

El proceso de biosorción es rápido ya que, aproximadamente a los 15 min de tiempo de contacto se retuvo el 89 % del AM sobre el meollo. Aproximadamente a los 50 min, se alcanzó el 96 % de remoción y una capacidad de adsorción de 22.3 mg/g. A partir de los 30 min, la retención permanece prácticamente constante en 22.28 ± 0.12 mg/g. La adsorción de AM es rápida al principio porque hay una disponibilidad alta de sitios en la superficie del meollo para que ocurra la interacción con el colorante, seguidamente el proceso se hace lento, probablemente, porque comienza a ser controlado por la migración de las moléculas de colorante hacia el interior de las partículas del meollo, hecho este que no se ve favorecido por el tamaño de las moléculas de AM (18, 20).

Cinética de la adsorción

Para estudiar la cinética de biosorción de AM sobre el meollo, se han seleccionado tres modelos utilizados por otros investigadores para el ajuste de los resultados experimentales y la determinación de los parámetros cinéticos en el proceso de adsorción de sólido-líquido (21,22). En las figuras de la 4 a 6, se presentan los ajustes de los datos experimentales al modelo de: pseudo primer orden,

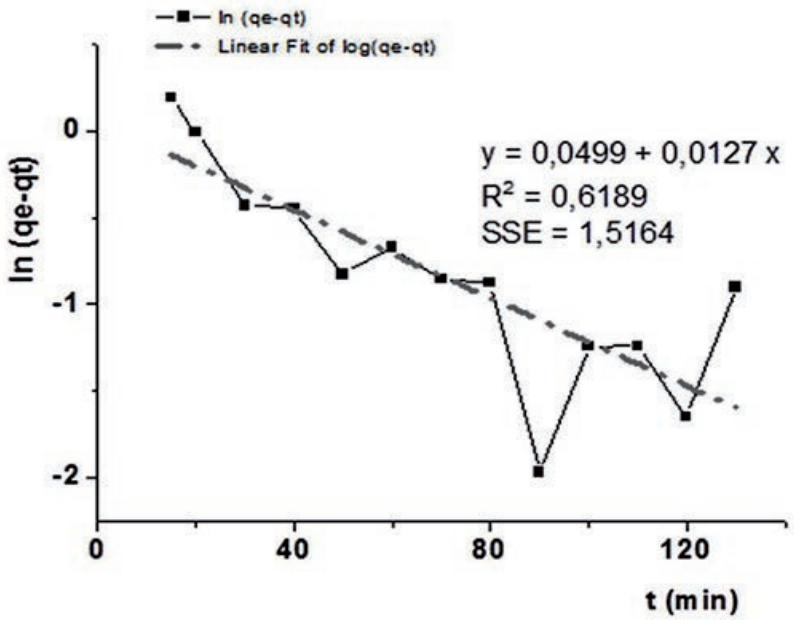

Figura 4. Ajuste de los datos experimentales al modelo de pseudo primer orden.

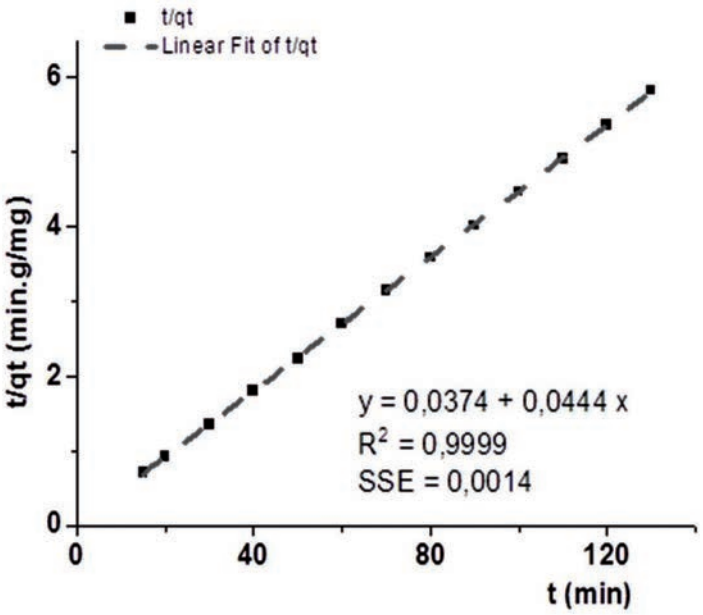

Figura 5. Ajuste de los datos experimentales al modelo de pseudo segundo orden.

Tabla 1. Constantes calculadas a partir de los modelos cinéticos de pseudo primer y pseudo segundo orden

Modelo pseudo primer orden			
K_1 (min^{-1})	qe(mg/g)	R^2	SSE
0.0127	1.05	0.6189	1.52
Modelo pseudo segundo orden			
K_2 (g/mg.min)	qe(mg/g)	R^2	SSE
0.0527	22.53	0.9999	0.001

Tabla 2. Constantes calculadas a partir del modelo cinético de difusión intraparticular

Modelo de difusión intraparticular				
Etapas	**K_{df}(mg/g.$min^{0,5}$)**	**B_{df}**	**R^2**	**SSE**
Primera	0.72	18.15	0.9699	0.01
Segunda	0.05	21.82	0.6886	0.04

pseudo segundo orden y difusión intraparticular. En las tablas 1 y 2, se presentan los parámetros cinéticos calculados.

Los valores bajos de R^2 y SSE obtenidos con el modelo de pseudo primer orden implican que las suposiciones de este modelo no se ajustan a la cinética del proceso de adsorción que tiene lugar.

En la figura 5 y la tabla 1, se observa que los datos experimentales se ajustan bien al modelo de Ho o pseudo segundo orden según los valores calculados de R^2=0.9999 y SSE=0.001. La capacidad de adsorción en el equilibrio de 22.53 mg/g, calculada por el modelo, es similar a la obtenida experimentalmente 22.28 ± 0.12 mg/g después que el sistema alcanza el equilibrio. Estos resultados apuntan a que, durante la adsorción de AM sobre el meollo, pudiera manifestarse algún proceso de quimisorción. Cuando la data experimental se ajusta a este modelo indica que la etapa limitante pudiera ser la interacción del colorante con la superficie del adsorbente y que la capacidad de adsorción es proporcional al número de sitios activos presentes. Resultados similares se reportan para la adsorción de AM sobre carbón activado (23).

Los parámetros obtenidos, mediante el modelo de difusión intraparticular, revelan que el proceso de adsorción se produce en dos etapas; la primera, ocurre en los primeros minutos, que se traduce en una alta afinidad del meollo por el AM y, la segunda etapa, es más lenta, y se alcanza el equilibrio, en correspondencia con lo publicado por Abo Farha (21). Como el valor del intercepto es diferente de cero y las líneas del modelo de difusión no interceptan el origen, la difusión intraparticular no es la etapa limitante del proceso de adsorción que tiene lugar. Esto está en concordancia con los valores

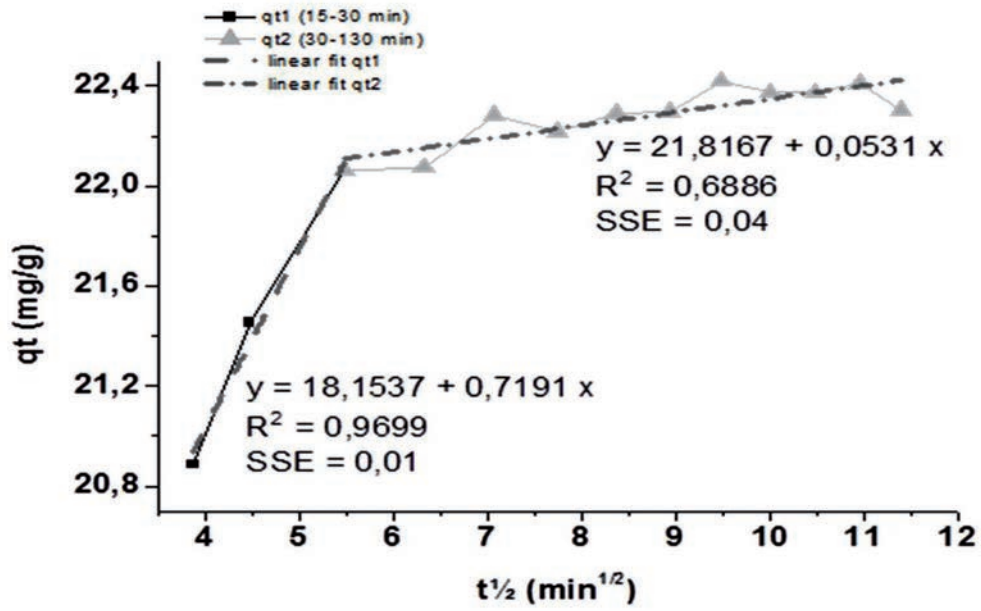

Figura 6. Ajuste de los datos experimentales al modelo de difusión intraparticular.

calculados de las constantes de velocidad en las dos etapas del proceso de adsorción de AM sobre el meollo.

Los resultados obtenidos son similares a los publicados en la adsorción de azul de metileno sobre: *Vitex negundo* (24) y cáscara de semillas de *Simarouba glauca* (25).

Influencia de la fuerza iónica del medio sobre el proceso de adsorción de AM sobre meollo

Las aguas residuales que pueden contener los colorantes, generalmente poseen una composición compleja, usualmente con elevados contenidos de sales disueltas, por ello es necesario conocer la influencia de la fuerza iónica sobre el proceso de adsorción.

El estudio del efecto de la fuerza iónica se realiza adicionando electrolitos a las soluciones acuosas. El cloruro de sodio es el compuesto más empleado para este tipo de ensayos, ya que al estar formado por los iones monovalentes Na^+ y Cl^-, con cargas $Z_{Na+}=1^+$ y $Z_{Cl-}=1^-$, la fuerza iónica es igual a la concentración molar total de la sal (26).

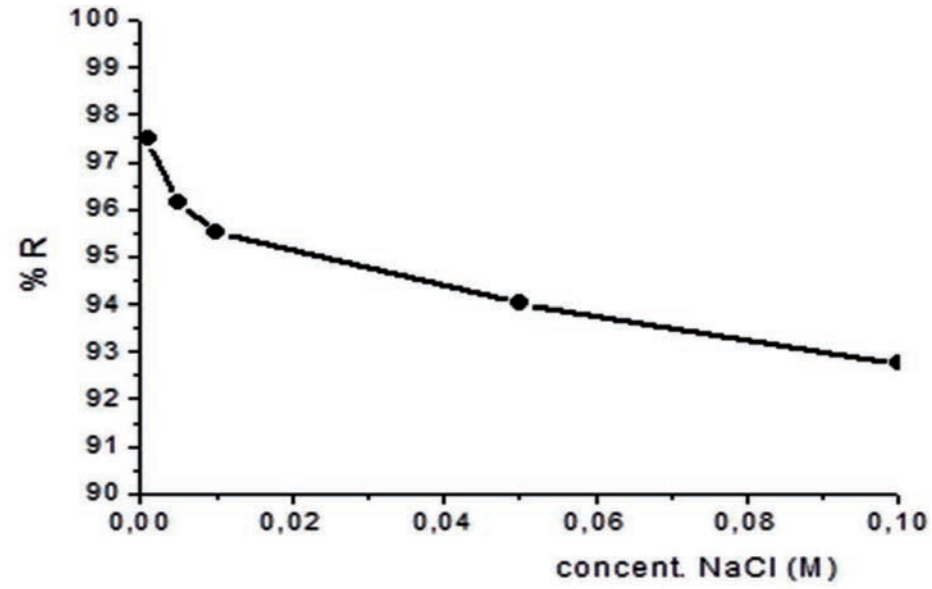

Figura 7. Efecto de la fuerza iónica sobre la adsorción de AM.

En la figura 7 se muestran los resultados obtenidos al variar la fuerza iónica del medio de 0.001 N a 0.1 N; manteniendo constantes pH=8; dosis de meollo 2 g/L; concentración inicial de AM=50 mg/L, 30 ºC y velocidad de agitación 100 rpm.

Se puede observar en el gráfico que el aumento de la fuerza iónica provoca una disminución de la retención de AM sobre el meollo y se obtiene una remoción de 97.5 % a 0.001 N, que decrece hasta 92.8 % cuando se ensayó a la mayor fuerza iónica. Este fenómeno pudiera explicarse porque al aumentar la fuerza iónica, aumenta la concentración de iones Na^+ en solución y estos compiten con el AM por los sitios de interacción presentes en la superficie del meollo. Otros autores explican que la existencia de iones sodio, que se encuentran en concentraciones superiores al colorante, interactúan con los grupos carboxilatos, impidiendo el contacto entre el AM y los sitios activos del material, lo cual reduce la adsorción del mismo (27). Resultados similares se obtuvieron por Lim (28) en la adsorción de AM sobre cáscara de nuez (breadnut).

Efecto de la concentración inicial de AM sobre la adsorción

La concentración inicial del adsorbato es un factor a considerar en los procesos de adsorción. En la figura 8, se muestra cómo varía la capacidad de adsorción del meollo al modificar la concentración inicial de AM entre 10-400 mg/L, manteniendo constantes: pH=8, velocidad de agitación 100 rpm, dosis de adsorbente 2 g/L y temperatura 30 ºC.

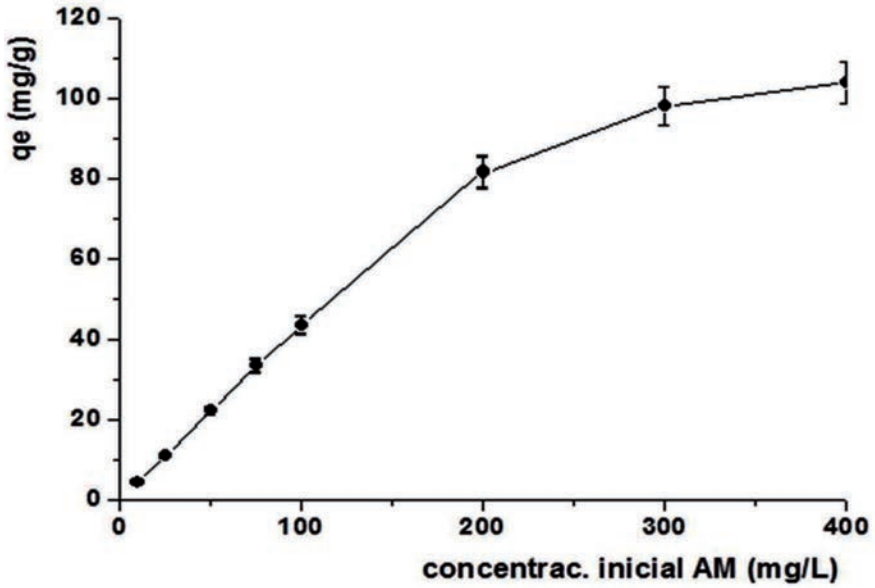

Figura 8. Influencia de la concentración inicial de AM sobre la adsorción.

Según lo que se observa en el gráfico, al incrementar la concentración inicial de AM de 10 a 400 mg/L la capacidad de adsorción se incrementa de 4.5 a 103.8 mg/g, debido a que aumenta el gradiente de concentración de AM en solución, lo que provoca que disminuya la resistencia a la difusión del AM desde la fase líquida hacia la superficie del sólido, y provoca que la capacidad de adsorción aumente hasta llegar a la saturación de la superficie del meollo. Resultados similares son reportados por Begum y Chisutia (29, 30) en la adsorción de colorantes sobre biomasa.

CONCLUSIONES

- El meollo resultante del desmedulado en suspensión del bagazo de la caña de azúcar se puede aplicar en la biosorción de especies en solución acuosa, como una estrategia de reducción de la carga contaminante que se vierte a los cuerpos de agua.

- La máxima capacidad de adsorción resultó 103.8 mg/g, la que se obtuvo con las siguientes condiciones: pH=8, temperatura 30 ºC, tiempo de contacto 30 minutos, dosis de adsorbente 2 g/L y velocidad de agitación 100 rpm. El aumento de la fuerza iónica provoca una disminución de la retención de AM sobre el meollo, y se obtiene una remoción de 97.5 % a 0.001 N la cual decrece hasta 92.8 % a la mayor concentración del electrolito.
- Los ensayos cinéticos realizados indican que el proceso de biosorción se ajusta al modelo de pseudo segundo orden y que la difusión intraparticular no es el mecanismo limitante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Reyes, Y.; Vergara, I.; Torres, O.; Díaz, M.; González, E. Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo 16 (2): p. 66-77, 2016.
2. Gómez, O. Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. Rev. Fac. Med. 66 (1): p. 7-8, 2018.
3. Yan, T.; Wang, L. Adsorptive removal of Methylene blue from aqueous solution by spent mushroom substrate: equilibrium, kinetics and thermodynamics. BioResourses 8(3): p. 4722-4734, 2013.
4. Feizi, M.; Jalali, M. Removal of heavy metals from aqueous solutions using sunflower, potato, canola and walnut Shell residues. J. Taiwan Inst. Chem. Eng. (54): p. 125-136, 2015.
5. Guo, Z., Fan, J.; Zhang, J.; Kang, Y. y otros. Sorption heavy metal ions by acivated carbons with well-developed microporosity and amino groups derived from Phragmites australis by ammonium phosphates activation. J. Taiwan Inst. Chem. Eng. (58): p. 290-296, 2016.
6. Lois-Correa, J.A. Depithers for Efficient Preparation of Sugar Cane Bagasse Fibers in Pulp and Paper Industry. Ingeniería, Investigación y Tecnología XIII (04): p. 417-424, 2012.
7. Rodríguez, R.; Cruz, T.; Fernández, J.M.; Roldán, T.; Mendoza, A.; Saucedo, G. Use of sugarcane bagasse pith as solid substrate for *P. chrysosporium* growth. Folia Microbiol. 44(2): p. 213-218, 1999.
8. Jain, R.K.; Thakur, V.; Pandey, D.; Adhikari, D.K.; Dixit, A.K.; Mathur, R.M. Bioethanol from bagasse pith: a lignocellulosic waste biomass from paper/sugar industry. Quarterly J. of Indian Pulp and Paper Technical Ass. 23(1): p. 169-173, 2011.
9. Gao, X.; Chen, K.; Zhang, H.; Peng, L.; Liu, Q. (2014). Isolation and characterization of cellulose obtained from bagasse pith by oxygen-containing agents. BioResourses 9(3): p. 4094-4107, 2014.
10. Rafatullah, M.; Sulaiman, O.; Hashim, R.; Ahmad, A. Adsorption of Methylene blue on low-cost adsorbents: a review. J. Hazard. Mater 177(1-3): p. 70-80, 2010.
11. Suteu, D.; Malutan, T. Industrial cellolignin wastes as adsorbent for removal of Methylene blue dye from aqueous solutions. BioResources 8(1): p. 427-446, 2013.
12. Kyzas, G.Z.; Kostoglou, M. Green adsorbents for wastewaters: A Critical Review. Materials 7(1): p. 333-364, 2014.
13. Mohammed, M.A.; Shitu, A.; Ibrahim, A. Removal of Methylene blue using low cost adsorbent: A Review. Res. J. Chem. Sci. 4(1): p. 91-102, 2014.
14. Dopico, D.; León, V.; Díaz, C.; Peña, E.; Céspedes, M. Meollo del bagazo: caracterización físico-química y potencialidades como biosorbente de especies catiónicas en solución. Revista ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 50(2): p. 29-34, 2016.
15. Uddin, M.T.; Islam, M.A.; Mahmud, S.; Rukanuzzaman, M. (2009). Adsorptive removal of Methylene blue by tea waste. J. Hazard. Mater 164(1): p. 53-60, 2009.
16. Guimarães, K.A.; Alves, L.; Sacramento, T.; Frédéric, L. Adsorption studies of Methylene blue and Gentian violet on sugarcane bagasse modified with EDTA dianhydride (EDTAD) in aqueous solutions: Kinetic and equilibrium aspects. Journal of Environmental Management 118 (30 March 2013): p. 135-143, 2013.
17. Guimarães, K.A.; Alves, L.; Sacramento, T.; Frédéric, L. Application of succinylated sugarcane bagasse as adsorbent to remove Methylene blue and Gentian violet from aqueous solutions: kinetic and equilibrium studies. Dyes and Pigments 92(3): p. 967-974, 2012.

18. Salem, N.; Awwad, A. Biosorption of Ni (II) from electroplating wastewater by modified (*Eriobotrya japonica*) loquat bark. J. Saudi Chem. Society 18(5): p. 379-386, 2014.
19. Dar, B.A.; Wani, A.; Rather, S.A.; Singh, B. Isothermal studies of sorption of acetic acid from waste water using shed needles from pine trees. Arab. J. for Sci. Eng. 38(10): p. 2595-2599, 2012.
20. Priyantha, N.; Lim, L. B. L.; Dahri, M. K. Dragon fruit skin as a potential biosorbent for the removal of Methylene blue dye from aqueous solution. Inter. Food Res. J. 22(5): p. 2141-2148, 2015.
21. Abo Farha, E.S.; Mousa, A.E.; Badawy, A.N.; Yousef, I.R. Removal of some organic dyes from aqueous solution by peanut husk. Int. J. Adv. Research 4(6): p. 1995-2010, 2016.
22. Balarak, D.; Bazrafshan, E.; Mostafapour, F.K. Equilibrium, kinetic studies on the adsorption of Acid Green 3 (Ag3) dye onto *Azolla filiculoides* as adsorbent. Amer. Chem. Scien. J. 11(1): p. 1-10, 2016.
23. Makrigianni, V.; Giannakas, A.; Deligiannakis, Y.; Konstantinou, I. Adsorption of Phenol and Methylene blue from aqueous solutions by pyrolytic tire char: Equilibrium and kinetic studies. J. Environ. Chem. Eng. 3 (1): p. 574-582, 2015.
24. Kavitha, K.; Senthamilselvi, M.M. Adsorptive removal of Methylene blue using the natural adsorbent: *Vitex negundo* stem. Int. J. Curr. Res. Aca. Rev. 2(9): p. 270-280, 2014.
25. Jeyagowri, B.; Yamuna, R.T. Biosorption of Methylene blue from aqueous solutions by modified mesoporous *Simarouba glauca* seed shell powder. Global NEST J. 17(4): p. 701-715, 2015.
26. Aranda, G.E. (2010). Biosorción de cromo y níquel por la cáscara de bellota de encino (*Quercus crassipes* Humb. and Bonpl.). Tesis para optar por el título de Maestro en Ciencias Quimicobiológicas. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F. Online: http:/www.tesis.ipn.mx. Consulta 1/7/2016.
27. Cartaya, O.; Reynaldo, I.; Peniche, C. Cinética de adsorción de iones cobre (II) por una mezcla de oligogalacturónidos. Rev. Iberoam. Polim. 9(5): p. 473-479, 2008.
28. Lim, L.B.L.; Priyantha, N.; Tennakoon, D.T.B.; Chieng, H.I.; Dahri, K.M.; Suklueng, M. Breadnut peel as a highly effective low-cost biosorbent for methylene blue: Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies. Arab. J. Chem., 2014. Online: http:/www.sciencedirect.com. Consulta 7-5-2016
29. Begum, H.A.; Mahbub, M.K.B. Effectiveness of carboxymethyl cellulose for the removal of *Methylene* blue from aqueous solution. Dhaka Univ. J. Sci. 61(2): p. 193-198, 2013.
30. Chisutia, W.; Mmari, J.; Mwanza, P. Adsorption of Congo red dye from aqueous solutions using roots of *Eichhornia crassipes*: Kinetic and equilibrium studies. Energy Proc. 50: p. 862-869, 2014.