

REMOCIÓN DEL COLORANTE COMPUESTO NARANJA REMAZOL DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA INDUSTRIA TEXTIL

REMOVAL OF COMPOUND DYE REMAZOL ORANGE FROM WASTEWATER GENERATED IN THE TEXTILE INDUSTRY

**Luis A. Bernal¹, Mayra K. Hernández¹, María S. Berber¹, Maribel E. Martínez²,
Raúl D. Delgado³, Miguel Á. Espinosa³**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, (1) Facultad de Ingeniería, (2) Facultad de Ciencias Químicas,
Av. Dr. Manuel Nava No. 8, Zona Universitaria, San Luis Potosí, S.L.P. C.P. 78290 México
(3) Universidad Autónoma de Nayarit, Programa Académico de Ingeniería Química del Área de Ciencias Básicas e
Ingenierías, Ciudad de la Cultura Amado Nervo S/N, Tepic, Nayarit. C.P. 63155 México
(e-mail: emiguel@uan.edu.mx)

Recibido: 20/01/2017 - Evaluado: 10/03/2017 - Aceptado: 29/05/2017

RESUMEN

El objetivo de este trabajo, fue determinar la capacidad de remoción del colorante compuesto naranja remazol presente en aguas residuales textiles, utilizando el proceso de adsorción con carbón activado, con base en el pH y la concentración de colorante. La metodología involucró la preparación de muestras con concentraciones de 100 a 600 ppm de colorante a pH de 3, 7 y 9; la obtención de isothermas ajustadas a los modelos de Langmuir y Freundlich; y la determinación de la concentración del colorante a través de un espectrofotómetro UV-Vis. Los resultados indicaron una mejor eficiencia de remoción del colorante a pH 3, concluyendo que a mayor pH disminuye la capacidad de adsorción, debido principalmente a las interacciones electrostáticas que se generan entre la superficie del adsorbente y el colorante.

ABSTRACT

The objective of this paper was to determine the removal capacity of compound dye remazol orange present in textile wastewater, using the adsorption process with activated carbon, based on pH and the dye concentration. The methodology involved the preparation of samples with concentrations of 100 to 600 ppm of dye to pH of 3, 7 and 9; the obtaining of isotherms adjusted to the Langmuir and Freundlich models; and the determination of the concentration of the dye through a UV-Vis spectrophotometer. The results indicated a better dye removal efficiency at pH 3, concluding that at higher pH the adsorption capacity decreases, mainly due to the electrostatic interactions that are generated between the surface of the adsorbent and the dye.

Palabras clave: adsorción, carbón activado, colorante azoico, isothermas
Keywords: adsorption, activated carbon, azo dye, isotherms

INTRODUCCIÓN

La descarga de aguas residuales con elevadas concentraciones de colorante en cuerpos de agua, representa un problema ambiental muy importante. Los colorantes sintéticos son utilizados ampliamente en la industria textil y del papel, porque son fáciles de producir con una gran variedad de colores, comparados con los colorantes naturales. Existen más de 100,000 colorantes disponibles en el mercado y más de 700,000 toneladas de colorantes son manufacturados anualmente en el mundo. Los colorantes azoicos son utilizados mayormente en la industria textil, constituyendo del 60-70% de todos los colorantes producidos. Este tipo de colorantes azo representan un problema porque su color es bio-calcitante y potencialmente tóxico para los animales y humanos; en pequeñas cantidades (10-15 mg/L) son altamente visibles en cuerpos de agua (Karatas *et al.*, 2010).

Los colorantes azoicos son compuestos aromáticos con uno o más enlaces (-N=N-). Su amplia utilización se debe a que ofrecen una amplia gama de colores (rojo, azul, naranja, negro, amarillo), presentan alta estabilidad y un porcentaje de fijación superior al 98% sobre diferentes fibras como poliéster, algodón, nylon, lana y seda. La alta estabilidad es considerada un defecto cuando son vertidos, puesto que se requieren tratamientos eficientes para disminuir los efectos nocivos que causan sobre los recursos hídricos (Tripathi *et al.*, 2009).

Diferentes sistemas de tratamiento se han utilizado para la remoción de colorantes de aguas residuales, entre ellos los procesos fisicoquímicos tales como la ultrafiltración, adsorción/precipitación, intercambio iónico, oxidación química y oxidación avanzada, además de los tratamientos biológicos aerobios (lodos activados) o anaerobios (reactores anaerobios de flujo ascendente, UASB). Recientemente, la combinación de tratamientos biológicos con la adsorción, han resultado efectivos para la remoción de colorantes. Sin embargo, muchos de estos procesos resultan caros y pueden generar altos volúmenes de lodos que deben tratarse posteriormente, por lo cual se requieren mejores tecnologías de tratamiento y con bajo costo (Rafatullah *et al.*, 2010).

Los colorantes azo, son generalmente persistentes en condiciones aerobias debido a que el oxígeno es un aceptor de electrones efectivo, por el contrario, en condiciones anaerobias, este tipo de colorantes son reducidos aún a tasas de reacción bajas, especialmente con colorantes de alta polaridad o estructura complicada, tal como los azo sulfonados. Sin embargo, el problema en condiciones anaerobias, es que se requieren de largos tiempos de retención hidráulica en los reactores para alcanzar un satisfactorio grado de reducción del colorante, además de que implica dosificar continuamente el mediador redox (generalmente enzimas) teniéndose descargas continuas de esta clase de compuestos biológicos recalcitantes (Pereira *et al.*, 2010).

En este contexto y conociendo que el carbón activado (CA) beneficia la reducción de los colorantes azo funcionando como mediador redox (Pereira *et al.*, 2010), y teniendo un trabajo previo donde se utilizaron diferentes carbones comerciales activados para remover un colorante azul remazol (Lara, 2014), el objetivo de este proyecto de investigación, fue determinar la capacidad de remoción de un colorante azo compuesto naranja remazol a través de una dicromía (amarillo y rojo remazol) presente en solución acuosa, utilizando el proceso de adsorción con un carbón activado comercial producido a partir de hueso de ganado vacuno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la muestra: Se preparó una solución patrón de 1,000 ppm de Naranja Remazol con 0.5 g de Amarillo Remazol y 0.5 g de Rojo remazol en 1 L de agua destilada. Esta solución se realizó con colorantes que se están utilizando actualmente en la industria textil, siendo la forma común de utilizar dicromías o máximo tricromías. A partir de esta solución se hicieron diluciones de 100 mL con concentraciones de 100, 200, 300, 400, 500 y 600 mg/L a pH 3, 7 y 9.

Preparación de soluciones buffer: Se prepararon soluciones buffer de HNO₃ a 0.1 M y NaOH 0.1 N para controlar el pH una vez iniciado el experimento.

Curva de calibración: Para determinar las concentraciones experimentales del colorante compuesto naranja remazol, se utilizó la curva de calibración, la cual se obtiene preparando soluciones conocidas entre 2 y 20 mg/L de dicho colorante y midiendo su absorbancia mediante el uso de un espectrofotómetro UV-Vis a la longitud de mayor absorbancia.

Desarrollo experimental: Se hizo un barrido espectrofotométrico para obtener la longitud de onda adecuada para determinar las concentraciones de las muestras preparadas de colorante y las mediciones de absorbancia en un espectrofotómetro de UV-Vis. La longitud de onda donde se obtuvo la mayor absorbancia correspondió a 510 nm. Para cada valoración de pH (3, 7, y 9) se realizó una curva de calibración desde 2 a 20 mg/L. La puesta en marcha de los experimentos consistió en que a cada muestra (100, 200, 300, 400, 500 y 600 mg/L) de diferente pH (3, 7 y 9) se le agregó 1 gramo de CA en bolsitas de nylon a 25°C y se dejaron en contacto durante varias horas hasta que se llegó al equilibrio (48 h), el cual se consideró cuando al analizar dos muestras tomadas a diferentes horas (36 y 48 h), no existía una variación significativa de concentración. Además, se fue cuantificando el volumen añadido del buffer de control y el volumen tomado de las muestras, para monitorear la concentración al equilibrio y considerarlo en el balance de materia.

Isotermas de adsorción: Una vez determinadas las concentraciones en el equilibrio con la ayuda de la Curva de Calibración, se obtuvieron los datos para poder graficarlos y tener una mejor interpretación de los mismos. Se realizó un balance de materia para obtener la cantidad adsorbida por gramo de adsorbente. Los resultados obtenidos se ajustaron a las isotermas ya conocidas de Langmuir y Freundlich.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se presentan los resultados de la masa adsorbida de colorante compuesto naranja remazol por gramo de CA (q experimental) a pH 3, los cuales se ajustaron a las isotermas de Langmuir (Figura 1) y de Freundlich (Figura 2).

Tabla 1: Resultados de adsorción de colorante a pH 3

pH = 3				
C_i (mg/L)	V_i (L)	C_f (mg/L)	V_f (L)	$q_{\text{EXPERIMENTAL}}$ (mg/g)
0	0	0	0	0
100	0.09	0.6261	0.0728	8.9544
200	0.09	17.4087	0.0708	16.7678
300	0.09	49.6522	0.0715	23.4474
400	0.09	141.7391	0.0721	25.7806
500	0.09	200.4348	0.0721	30.5587
600	0.09	283.0435	0.0709	33.9181

C_i (concentración inicial); C_f (concentración final); V_i (volumen inicial); V_f (volumen final)

Como se observa en los resultados (Tabla 1), la capacidad de adsorción del colorante aumenta a mayor concentración inicial (C_i), alcanzando su mayor porcentaje de remoción para una C_i de 600 mg/L de contaminante. A esta C_i se remueven 33.92 mg de contaminante por cada gramo de CA para una concentración en el equilibrio (C_e) de 283 mg/L. Otros resultados presentados en la literatura con colorantes ácidos o reactivos, similares a las propiedades del colorante Naranja Remazol y con CA producido a partir de hueso vacuno, muestran por ejemplo, que al adsorber Naranja de Metilo en solución acuosa a pH 3, 5, 8 y 11, la mayor capacidad de adsorción se obtuvo a pH 11 la cual aumentó conforme se incrementó C_i ; a pH 3 la

remoción fue de 7.0 mg de contaminante adsorbido por cada 0.2 gramos de CA, y una C_i de 10 mg/L, lo cual resulta excelente comparado con el valor de la Tabla 1 para una C_i de 100 mg/L. Sin embargo, a mayor masa de adsorbente (CA) el porcentaje de remoción del colorante Naranja de Metilo disminuyó, como era de esperarse. El punto de carga cero (PCC) del adsorbente de este experimento, fue de 6.8 (Domga *et al.*, 2016).

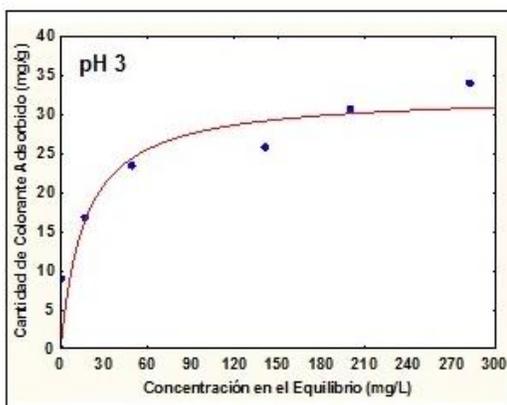


Fig. 1: Isoterma de Langmuir (R = 0.9519)

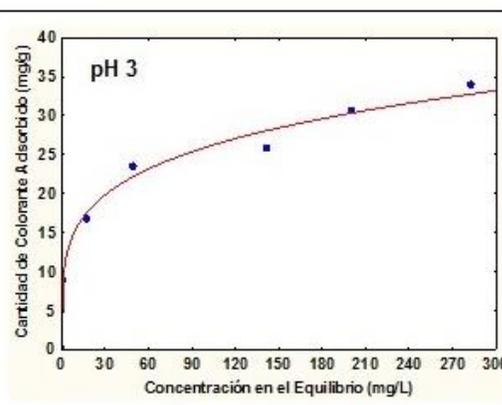


Fig. 2: Isoterma de Freundlich (R = 0.9947)

Otro ejemplo de referencia es la remoción del colorante reactivo Amarillo 84 también con carbón de hueso vacuno; en este caso la máxima capacidad de adsorción ocurrió a un pH de 6.6 removiendo 30 mg de colorante por gramo de carbón con una C_e de 30 mg/L. Arriba de pH 7 y debajo de pH 3 la adsorción del colorante decreció. A pH 3 se removieron 17 mg de colorante por gramo de carbón, que es similar al obtenido en esta investigación con una C_e de 30 mg/L (Figura 1). En este caso el PCC del adsorbente fue de 8.4 (Haddad *et al.*, 2012).

En la Tabla 2, se presentan los resultados de la masa adsorbida del colorante compuesto naranja remazol por gramo de CA a pH 7, los cuales se ajustaron a la isoterma de Langmuir (Figura 3) y de Freundlich (Figura 4).

Tabla 2: Resultados de adsorción de colorante a pH 7

pH = 7				
C_i (mg/L)	V_i (L)	C_f (mg/L)	V_f (L)	$q_{EXPERIMENTAL}$ (mg/g)
0	0	0	0	0
100	0.09	6.6984	0.1034	8.3073
300	0.09	145.2381	0.0977	12.8131
400	0.09	233.2622	0.0971	13.3596
500	0.09	303.8095	0.0966	15.6490
600	0.09	401.4042	0.0954	15.6900
C_i (concentración inicial); C_f (concentración final); V_i (volumen inicial); V_f (volumen final)				

Los resultados de la Tabla 2, muestran una disminución de la capacidad de adsorción del colorante de alrededor del 54% para una C_i de 600 mg/L con respecto a los resultados de la Tabla 1. Para esta C_i se tiene una remoción de 15.69 mg/L de colorante por cada gramo de CA. Si se compara el resultado de la investigación de remoción del colorante Amarillo 84 (Haddad *et al.*, 2012), con los resultados obtenidos en la Figura 3, la capacidad de remoción es muy significativa a una C_e de 30 mg/L, así para un pH de 6.6 se removieron 30 mg de colorante por gramo de carbón, mientras que a pH 7 (Figura 3) solo fueron 12 mg por gramo de CA.

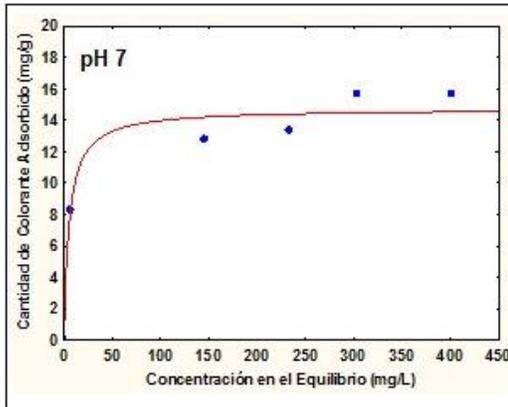


Fig. 3: Isoterma de Langmuir (R = 0.9839)

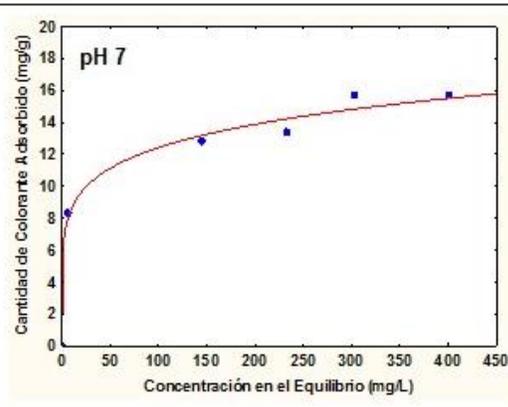


Fig. 4: Isoterma de Freundlich (R = 0.9954)

En la Tabla 3, se presentan los resultados de la masa adsorbida de colorante compuesto naranja remazol por gramo de CA a pH 9, muy cercano al PCC del CA usado en este trabajo que fue de 8.9. Los resultados se ajustaron a las isotermas de Langmuir (Figura 5) y Freundlich (Figura 6). A este pH, la capacidad de remoción del colorante vuelve a aumentar a la C_i de 600 mg/L, lo cual quiere decir que en el proceso de adsorción, existe una gran influencia de la estructura del adsorbente y el adsorbato, además del mecanismo de adsorción. Esto fue observado al adsorber Naranja de Metilo a pH 3, 5, 8 y 11 (Domga *et al.*, 2016), adsorbiendo de 7 mg de colorante a pH 3 con una C_i de 10 mg/L, hasta 12 mg de colorante a pH 11 con una C_i de 60 mg/L, no habiendo un efecto significativo del pH, es decir que el PCC en este caso de 6.8 no influyó de manera significativa la capacidad de adsorción del colorante en condiciones ácidas o básicas, lo cual entonces, tiene que ver con las interacciones electrostáticas entre el colorante en solución acuosa y el adsorbente, a pesar de que el CA contenga grupos funcionales ácidos o básicos que puedan producir o no iones H^+ (Domga *et al.*, 2016).

Tabla 3: Resultados de adsorción de colorante a pH 9

C_i (mg/L)	V_i (L)	C_f (mg/L)	V_f (L)	$q_{EXPERIMENTAL}$ (mg/g)
0	0	0	0	0
100	0.04	18.5088	0.0330	6.7792
200	0.04	70.9303	0.0326	11.3697
300	0.04	101.5149	0.0325	17.4036
400	0.04	250.6266	0.0316	16.1428
500	0.04	347.6283	0.0316	18.0159
600	0.04	386.3826	0.0322	23.0860
C_i (concentración inicial); C_f (concentración final); V_i (volumen inicial); V_f (volumen final)				

Por otra parte, los resultados obtenidos en la remoción del colorante reactivo Amarillo 84 (Domga *et al.*, 2016) cuyo PCC del adsorbente fue de 8.4, muy cercano al PCC del adsorbente utilizado en esta investigación que fue de 8.9, indican de nueva cuenta que las interacciones electrostáticas entre el colorante en solución acuosa y el adsorbente tienen mucho que ver en el proceso de adsorción y no tanto el PCC, ya que la máxima capacidad de adsorción del colorante Amarillo 84 se dio a pH 6.6 muy cercano al PCC (8.4), mientras que la del colorante Naranja Remazol se dio a pH 3 muy distante al PCC (8.9).

Comparando los resultados obtenidos de la capacidad de adsorción sobre CA, y grificándolos (Figura 7) con la isoterma que dio el mejor ajuste, es decir, las isotermas de Freundlich para un pH 3 y 7 y con la isoterma de Langmuir para un pH de 9, se observa que a pH de 3 la capacidad de adsorción es 1.9 y 2.1 veces mayor que

para un pH de 9 y 7 respectivamente. Esto se debe a que a pH menores a 8.9 (PCC), la superficie del CA tiene carga positiva y conforme va siendo más ácido el valor del pH se incrementa el potencial positivo. A valores de pH mayores, la superficie del CA se vuelve negativa, limitando la adsorción por interacciones electrostáticas dado que el colorante compuesto naranja remazol es de naturaleza de carga negativa.

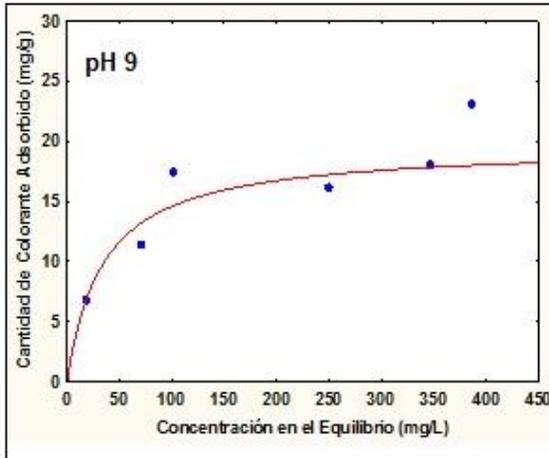


Fig. 5: Isoterma de Langmuir ($R = 0.9755$)

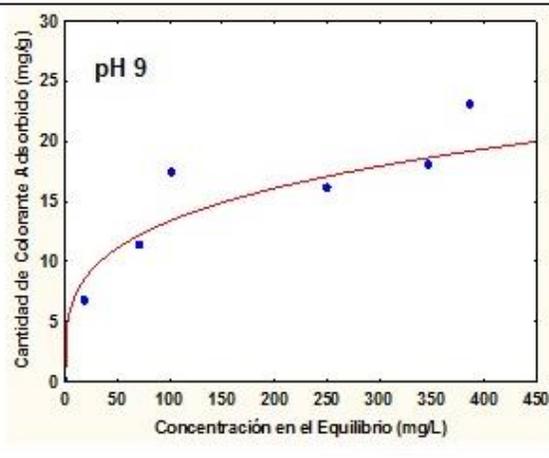


Fig. 6: Isoterma de Freundlich ($R = 0.9579$)

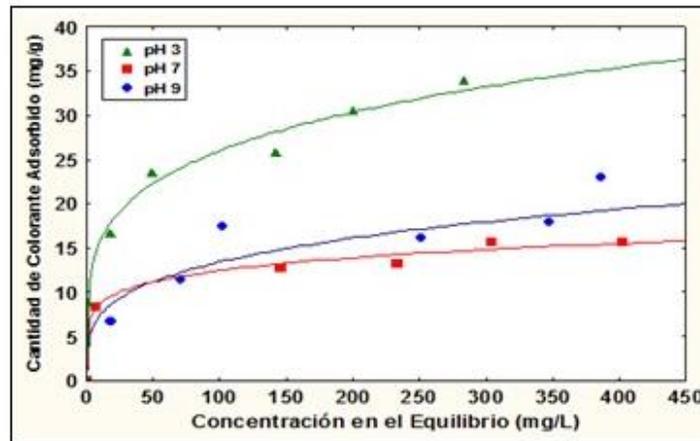


Fig. 7: Efecto del pH en la adsorción del colorante naranja remazol

CONCLUSIONES

El pH de la solución con el colorante Naranja Remazol y el PCC del CA jugaron un rol muy importante en el proceso de adsorción, considerando la influencia de la carga superficial del CA y consecuentemente de las interacciones electrostáticas entre las moléculas del colorante y la superficie del adsorbente. La máxima capacidad de adsorción se dio cuando el valor del pH de la solución con colorante fue más bajo (pH 3) que el PCC del CA (8.9); es decir que conforme el pH de la solución se acercó al PCC del CA, disminuyó la capacidad de adsorción. Las isotermas de equilibrio de adsorción fueron analizadas con los modelos de Langmuir y Freundlich, siendo este último el que más se ajustó a los resultados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Clarimex, por la donación del adsorbente CA; DyStar, por la proporción de los colorantes y al grupo textil Kaltex.

REFERENCIAS

1. Domga, R., Tcheka, C., Mouthe, G., Kobbe, N., Tchatchueng, J. Tchigo, A. *et al.* (2016). Batch equilibrium adsorption of methyl orange from aqueous solution using animal activated carbon from gudali bones. *International Journal of Innovation Sciences and Research*, 5 (7), 798-805.
2. Haddad, M., Mamouni, R., Slimani, R., Saffaj, N., Ridaoui, M. El Antri, S. *et al.* (2012). *Journal of Materials and Environmental Science*, 3 (6), 1019-1026.
3. Karatas, M., Dursun, S. & Argun, M. (2010). The decolorization of azo dye reactive Black 5 in a sequential anaerobic-aerobic system. *Ekoloji*, 19 (74), 15-23.
4. Lara, A.C. (2014). *Remoción del colorante azul remazol de solución acuosa por medio de carbón de hueso*. Trabajo Recepcional para obtener el grado de Ingeniero Ambiental. Área de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, SLP-México. Disponible en: http://ninive.uaslp.mx/jspui/bitstream/i/4211/1/remocion_colorante_azul_remazol_carbon_activo.pdf
5. Pereira, L., Pereira, R., Pereira, M., van der Zee, F., Cervantes, F. & Alves, M. (2010). Thermal modification of activated carbon surface chemistry improves its capacity as redox mediator for azo dye reduction. *Journal of Hazardous Materials*, 183, 931-939.
6. Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R. & Ahmad, A. (2010). Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 177, 70-80.
7. Tripathi, P., Srivastava, V. & Kumar, A. (2009). Optimization of an azo dye batch adsorption parameter using Box-Behnken design. *Desalination*, 249, 1273-1279.

