

# Pruebas de adsorción para el tratamiento de agua residual textil

Acevedo Trejo Dulce Belen\*, Ramírez Cortina Clementina Rita

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, División de CBI, Departamento de Energía. Av. San Pablo No. 180, Delegación Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200, México.

\*Autor para correspondencia: dulceb\_at@hotmail.com

## Recibido:

22/junio/2017

## Aceptado:

25/octubre/2017

## Palabras clave

Adsorción, CAG, Agua residual de la industria textil

## Keywords

Adsorption, GAC, Wastewater textile industry

## RESUMEN

En este trabajo se estudia el proceso de adsorción con carbón activado granular (CAG) para una descarga de agua residual textil. Se prueban dos tipos de CAG, de cáscara de coco y de madera. Se investigan los efectos de la temperatura (26, 60 y 80°C) y del pH (2, 7 y 10) en el proceso de adsorción. Se hacen pruebas con diferentes cantidades de CAG para determinar el tiempo de equilibrio. La eficiencia del proceso de adsorción se evalúa mediante la remoción del color y DQO.

Se encontró que tanto la temperatura como el pH son importantes en el proceso de adsorción ya que permiten disminuir el tiempo adsorción y aumentar la remoción de los contaminantes. Las mejores eficiencias se lograron con el CAG de madera, a 80°C y pH ácido.

## ABSTRACT

In this study the adsorption process with granular activated carbon (GAC) was studied for a textile wastewater discharge. Two types of CAG, coconut shell and wood were tested. The effect of temperature (26, 60 and 80 ° C) and pH (2, 7 and 10) on the adsorption process was investigated. Different amounts of CAG were tested for equilibrium time. The efficiency of the adsorption process was evaluated by the removal of color and COD. It was found that both temperature and pH are important in the adsorption process because they allow to decrease the adsorption time and increase the removal of the pollutants. The best efficiencies were achieved with the wood CAG, at 80 ° C and acid pH.

## Introducción

Existen diversos sectores industriales que generan contaminación hacia el medio ambiente, dentro de estos sectores el referente a la producción de textiles es uno de los más perjudiciales.

Una de las problemáticas relacionadas con la industria textil es el alto volumen de agua que consume, que puede llegar a ser de 200 litros de agua por kg de producto terminado (Kant, 2012). Esta agua después de ser usada, contiene una gran cantidad de contaminantes con niveles elevados de DBO, DQO, color, valores de pH extremos y alta temperatura (Chequer et al., 2013).

Se han probado una gran cantidad de tratamientos con diferentes grados de disminución de contaminantes en el agua residual textil (Yukseler et al., 2017); algunos de estos métodos suelen presentar altos costos de mantenimiento y operación, generan lodos tóxicos o el tratamiento es un procedimiento complicado. Comparado con éstos, el proceso de adsorción es considerado como una mejor alternativa por sus bajos costos de operación, amplia disponibilidad y simplicidad en el diseño en una planta de tratamiento de aguas residuales (Simate et al., 2016). Hoy en día el adsorbente más empleado es el carbón activado (Peláez-Cid, 2016).

La mayor parte de la bibliografía actual en cuanto al proceso de adsorción para la remoción de contaminantes de aguas residuales textiles, se lleva a cabo en condiciones controladas; esto es, se preparan soluciones sintéticas con concentraciones específicas y conocidas de colorantes (Belaïd et al., 2013) Basic Red 5 (BR).

Jarusiripot (2014), llevó a cabo un estudio en el que usó carbón activado a base de cenizas, para remover Azul Reactivo 49 y Azul Ramazol Brillante R; encontró que la capacidad de adsorción decrece cuando incrementa la concentración de colorante. (Mahmoodi et al, 2011) estudiaron el proceso de adsorción con carbón activado para los colorantes Azul Directo 78 y Rojo Directo 31 y encontraron que las mejores capacidades de adsorción son 76.92 mg/g y 111 mg/g. (Mahmoodi et al, 2011) usaron Negro Acido 26, Verde Acido 25 y Azul Acido 7, para estudiar el proceso de adsorción con carbón activado a base de madera de pino, encontrando buenas remociones de color (60-90%).

Sin embargo hay que tener en cuenta, que en un agua residual textil, se encuentran una gran variedad de sustancias químicas, que resultan nocivas para el medio ambiente (Wang et al., 2011), por lo cual, los estudios

realizados con agua residual textil, proporcionan una buena referencia para observar el proceso de adsorción bajo condiciones reales.

En este trabajo se investigó el proceso de adsorción con carbón activado para reducir la contaminación de una descarga de un agua residual textil. Se utilizaron dos tipos de carbón activado granular, CAG de madera y CAG de coco y se investigó el efecto del pH y de la temperatura en el proceso de adsorción para eliminar el color y la DQO.

## Metodología

### Caracterización de la muestra del agua residual y del CAG

Las pruebas realizadas en este estudio, se llevaron a cabo con agua residual real de una industria textil, tomada directamente en el sitio de la descarga al alcantarillado. Esta agua se caracterizó midiendo los parámetros de temperatura y pH en el sitio de muestreo, y los parámetros de DQO y color espectrofotométrico, se determinaron en el laboratorio. De igual manera se caracterizaron los CAG usados en el presente estudio, de coco y de madera, con los parámetros de densidad aparente, % de humedad y pH del extracto acuoso. Los métodos de análisis aplicados se presentan en la tabla 1 y corresponden a métodos oficiales de las Normas Mexicanas y a métodos estándares internacionales.

**Tabla 1.** Métodos de análisis usados en el presente estudio.

Muestra	Parámetro	Método
AR y ARt	pH	Potenciométrico - NMX-AA-008-SCFI-2011
AR y ART	Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2013
AR y Art	DQO	NMX-AA-030/2-SCFI-2011
AR y Art	Color	Espectrofotométrico - NMX-AA-017-1980
CAG	Densidad aparente	Densimétrico - NMX-F-282-SCFI-2011
CAG	pH (extracto acuoso)	Estándar para carbón activado - ASTM D3838-80
CAG	Humedad	Estándar para carbón activado - ASTM D2867-09

### Pruebas de Adsorción

Se pesaron diferentes cantidades de ambos tipos de CAG en un rango de 0.1 – 10 g, los cuales se sometieron a reaccionar con 50 mL de agua residual textil en matraces

Erlenmeyer de 250 mL en un agitador Orbital Cole Parmer, posteriormente se centrifugaron las muestras en una centrifuga Clay Adams-Dynac por 10 min al 50% de la capacidad del motor y posteriormente se hizo pasar la muestra a través de un equipo de vacío con filtros Whatman de fibra de vidrio de 24 mm, para evitar interferencias en las lecturas de absorbancias para la determinación de color espectrofotométrico en un espectrofotómetro GENESYS 10 UV. Además, se midieron los parámetros de conductividad eléctrica con un conductímetro Conductronic CL8 y la demanda química de oxígeno (DQO) mediante el método espectrofotométrico, usando una curva de calibración.

Para estudiar el efecto de la temperatura y del pH en el proceso de adsorción, se hicieron pruebas con temperaturas de 26, 60 y 80 °C. Las pruebas con diferentes valores de pH fueron a 2, 7 y 10. Para cada prueba de adsorción se evaluó la eficiencia con los parámetros de color espectrofotométrico, conductividad eléctrica y DQO.

## Resultados y discusión

### Caracterización del Agua Residual

Como se puede observar en la tabla 2, los valores obtenidos son propios de una industria textil, el pH medido es básico, debido a las sales utilizadas en el proceso que mejoran la tinción y durabilidad del colorante sobre la tela (Esteve et al., 2017).

La temperatura medida en el sitio es alta, debido a que los procesos usan agua caliente para facilitar la penetración del colorante en las fibras textiles. Se observan valores altos de DQO, provenientes de una gran cantidad de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas usadas en el proceso. Y el color obtenido, es una mezcla de los colorantes usados en esta industria.

**Tabla 2.** Valores medidos en la caracterización del AR textil.

Parámetro	Valor medido
pH	10.2 en el sitio
Temperatura	55°C – 65°C en el sitio
DQO	1390.17 mg/L
Color	púrpura- rojo púrpura

### Caracterización del CAG

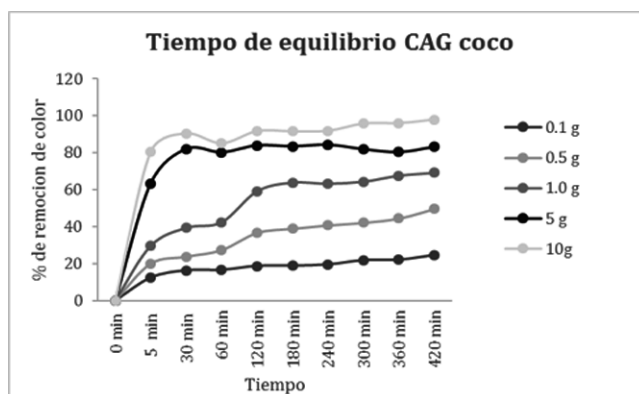
En la Tabla 3, se presentan los valores medidos para cada parámetro en los dos tipos de CAG.

**Tabla 3.** Valores medidos en la caracterización de ambos tipos de CAG.

CAG	Humedad (%)	Densidad aparente (g/mL)	pH (extracto acuoso)
Coco	5.965	0.444	9.8
Madera	8.34	0.237	1.62

### Efecto de la cantidad de CAG y obtención del tiempo de equilibrio

Para la obtención del tiempo de equilibrio, se pesaron las cantidades de 0.1, 0.5, 1, 5 y 10 g de CAG de coco y madera, siguiendo el procedimiento explicado anteriormente; usando tiempos de reacción de 7 horas para el CAG-coco y 5 horas para CAG- madera. Las condiciones de operación en esta fase fueron: Temperatura ambiente de 26°C y pH de 10.2. Como se observa en las figura 1 y 2, la cantidad de CAG, usado es directamente proporcional al porcentaje de remoción de color en ambos tipos de CAG, sin embargo, se aprecia que las mejores eficiencias de remoción de color las proporciona el CAG de madera e incluso en menor tiempo de reacción (Figura 2). Esto es más notorio en las menores cantidades de CAG, por ejemplo, tenemos que para 0.1 g, la mejor eficiencia de remoción de color obtenida usando el CAG de coco es de 24.59% en un tiempo de reacción de 7 horas, en contraparte con el CAG de madera, que ha alcanzado dicha eficiencia en tan solo 1 hora y tiene su máxima a las 5 horas cuando ha removido más de la mitad del color (53.82%).



**Figura 1.** Tiempo de equilibrio para el CAG coco.

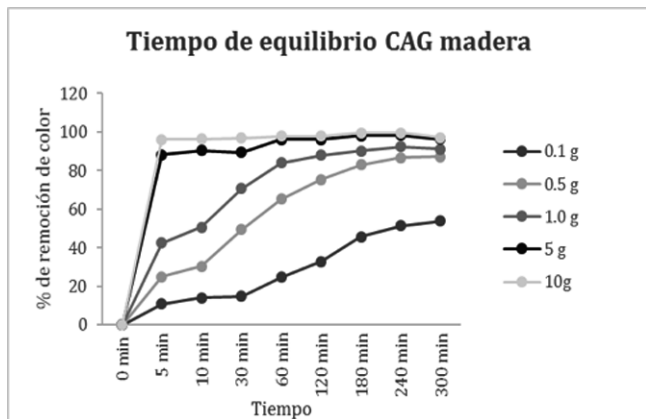


Figura 2. Tiempo de equilibrio para CAG madera.

En relación al tiempo de equilibrio, se observa que para el CAG-coco en un tiempo de 2 horas la tendencia de los resultados es prácticamente lineal, es por eso que se decide tomar este tiempo para realizar el siguiente experimento (variación de temperatura); en el caso del CAG-madera esta tendencia se presenta en las 3 horas.

### Efecto de la temperatura

Para este experimento se toman las mismas cantidades de CAG, y se varía la temperatura, calentando el agua residual, con una parrilla Cimarec Marca: THERMO SCIENTIFIC. Las temperaturas usadas en este experimento son 60 °C y 80 °C; las cuales son las que se registran usualmente en los efluentes de tipo textil, el procedimiento es igual que en el anterior. El pH se mantiene en 10.2. Los resultados de estas pruebas se presentan en las figuras 3 y 4 para el CAG coco y en las figuras 5 y 6 para el CAG madera.

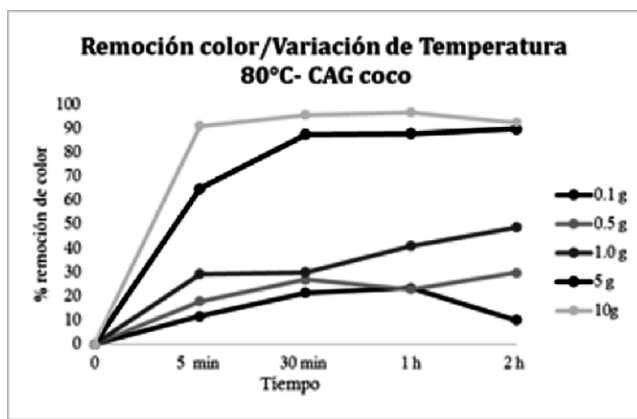


Figura 4. Remoción de color con variación de Temperatura a 80 °C CAG coco.

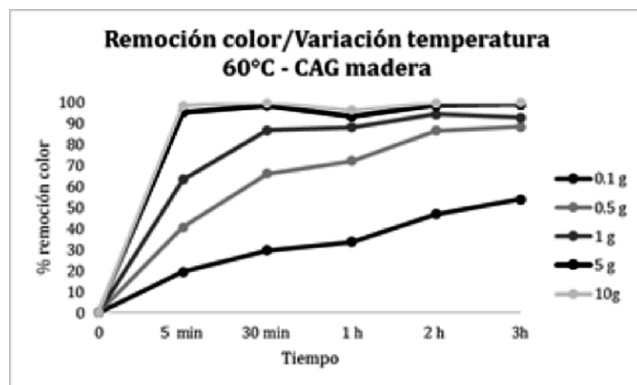


Figura 5. Remoción de color con variación de Temperatura a 80 °C CAG madera.

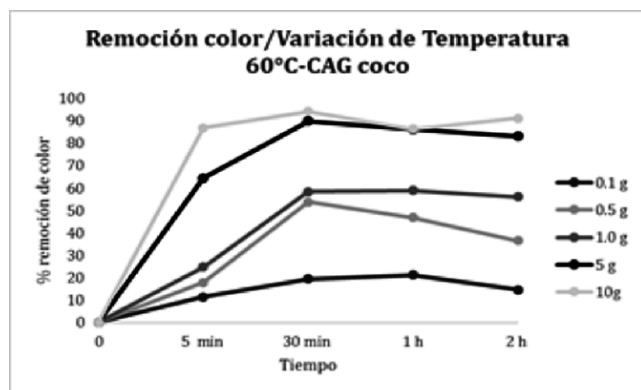


Figura 3. Remoción de color con variación de Temperatura a 60 °C CAG coco.

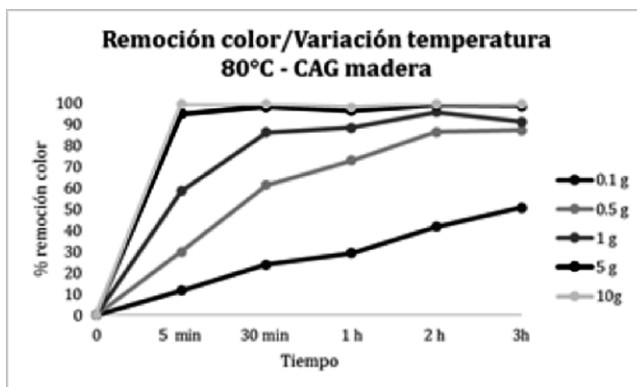


Figura 6. Remoción de color con variación de Temperatura a 80 °C CAG madera.

Comparando los resultados de adsorción a altas temperaturas con los resultados en condiciones de temperatura ambiente, se encontró que los resultados que se obtienen con las temperaturas propias de las descargas de efluentes textiles, son mejores en cuanto a remoción de color y además se logran en tiempos menores, sobre todo a 60 °C tanto para el CAG de coco como para el CAG de madera.

Particularmente en el caso del CAG coco, se observa que la eficiencia de remoción de color correspondiente a 0.5g de CAG, permite obtener una remoción de color de 53.7% a los 30 min de reacción para una temperatura de 60 °C, que es superior a los 49.59% obtenidos a temperatura ambiente y tiempo de remoción de 7 horas.

Los resultados del CAG madera variando la temperatura muestran la misma tendencia que para el CAG coco, esto es aumentan la remoción con el incremento de temperatura, observándose que no se logran mucho mejores eficiencias, sin embargo, el tiempo de reacción disminuye hasta en 3 horas menos. Por ejemplo, en el caso de la cantidad de 1 g, se aprecia que la mejor remoción de color alcanzada, es de 96.01% a las 2h y 80 °C, mientras que para temperatura ambiente y la misma cantidad de adsorbente, la remoción máxima es de 92.30% y tiempo de reacción de 5 horas.

En cuanto a la remoción de DQO, se obtuvo que de igual manera que en el caso del color, hay mejores remociones cuando la cantidad de adsorbente es mayor. Y en cuanto a la variación de temperaturas como se puede observar en la tabla 4, las remociones de DQO son muy parecidas para ambas temperaturas, para el caso de 0.1 g hay remociones máximas que fluctúan entre (40-43) %, para 0.5 g entre (48- 55)%, para 1 g de (55-58)%, para 5 g de (62-67)% y para 10 g de 73% aproximadamente.

**Tabla 4.** Mejores remociones de DQO, para CAG coco y CAG madera, variando la Temperatura.

Remoción de DQO (%)/tiempo/Temperatura		
MEJORES REMOCIONES		
Cantidad de CAG	CAG COCO	CAG MADERA
0.1g	43.83 (1h) 60°C	40.54 (2h) 60°C
0.5g	48.65(30 min) 60°C	55.51(2h) 80°C
1g	55.30 (5 min) 60°C	58.42 (2h) 80°C
5g	67.78 (2h) 80°C	61.54 (2h) 60°C
10g	73.8 (1h) 60°C	74.22 (2h) 60°C

### Efecto del pH

Para complementar las pruebas de adsorción al pH básico del agua residual (pH 10.2 - primer experimento), se varía este parámetro para cada temperatura (60 °C y 80 °C); con un valor ácido (pH 2) y un valor neutro (pH 7). Los resultados para los dos tipos de CAG, en cuanto a la remoción de color se presentan en la Figura 7 para el CAG coco y en la Figura 8 para el CAG madera.

Para el caso del CAG coco, la variación de la temperatura y pH ácido, son benéficos para el proceso de adsorción, en la mayoría de los casos (0.1, 5 y 10 g) particularmente con la combinación de T 80 °C y pH 2, ya que se observa un ligero incremento en la remoción de color. Como en el caso de 5 g, se tiene que a temperatura ambiente y pH 10.2, la remoción máxima 83.15%, alcanzada en 7 horas; cuando se prueba el tratamiento de aumento de temperatura a 60°C, se incrementa a 89.97% en solo 30 min, y aplicando una combinación de temperatura de 80 °C y pH 2, se eleva hasta 94.25% en un tiempo de reacción de 1h. Sin embargo, no es así para las cantidades de 0.5g y 1 g, ya que contrario a lo que se esperaría, la remoción disminuye con la variación de pH. En contraparte con el uso de pH neutro, que en todas las ocasiones resultaron, ser los valores más bajos de remoción de color, incluso se encontraron valores negativos, en donde la absorbancia resultaba más alta que la de la muestra sin tratamiento (T 80° C y pH 7).

Para el caso del CAG madera, se observa en la mayoría de los casos que la remoción aumenta cuando disminuye el pH, como en el caso de 0.1 g, se tiene que a temperatura ambiente y pH 10.2, la remoción máxima es 53.82%, alcanzada en 5 horas; cuando se prueba el tratamiento de aumento de temperatura 60 °C, incrementa a 54.11% disminuyendo el tiempo a 3 horas. Sin embargo, cuando se aplica una combinación de temperatura 60 °C y pH2, se eleva hasta 60.01% en un tiempo de reacción de 1h, siendo éste el mejor valor obtenido para esta cantidad, desde el punto de vista de tiempo de reacción y mayor porcentaje de remoción. De igual manera que en el CAG coco, las eficiencias correspondientes a pH neutro son siempre menores.

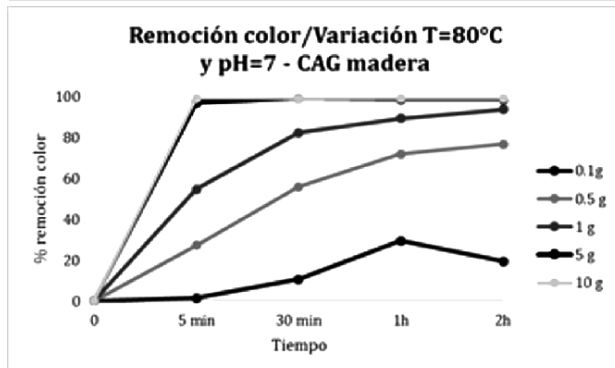
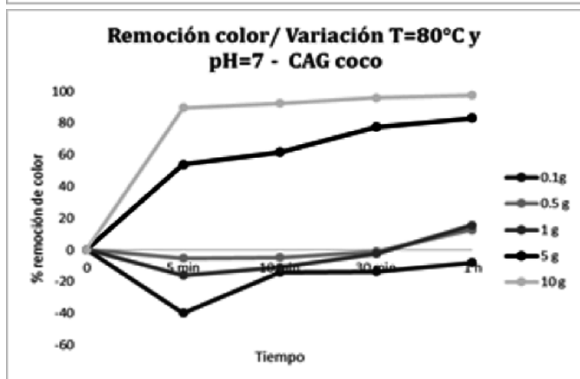
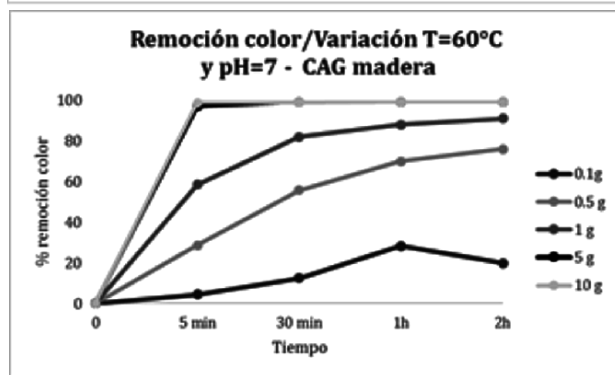
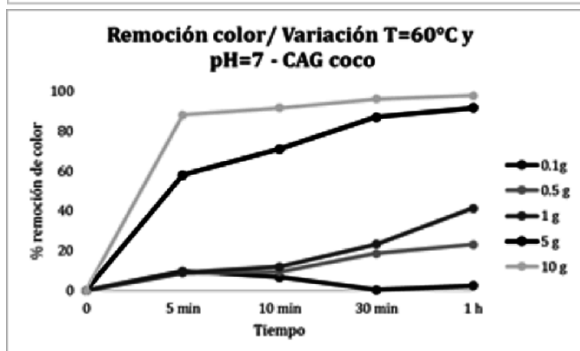
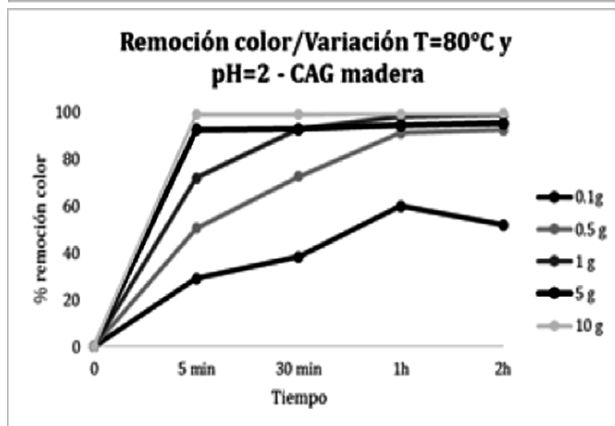
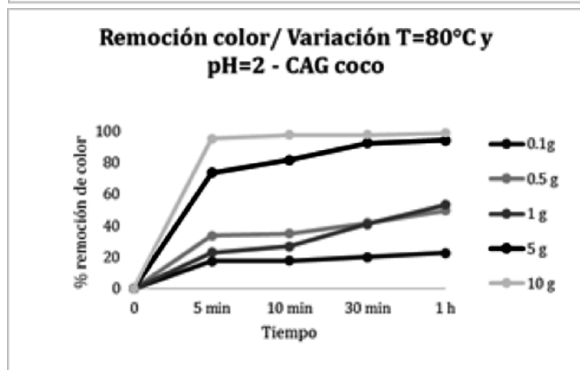
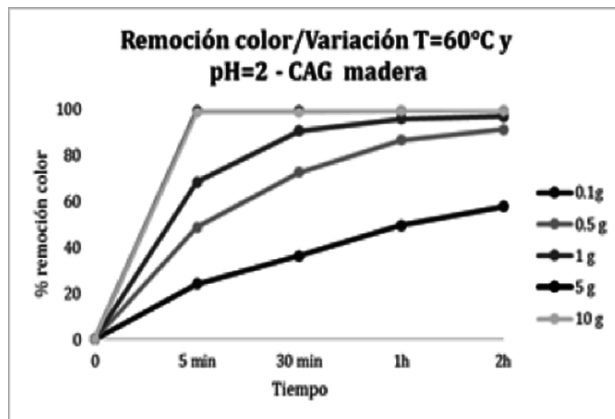
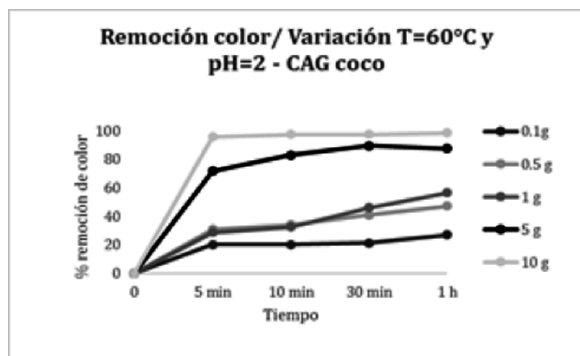


Figura 7. Remoción de color con variación de Temperatura y pH CAG coco.

Figura 8. Remoción de color con variación de Temperatura y pH CAG madera.

Referente a la remoción de DQO, se observa en la tabla 5 que para el CAG madera, existe un incremento en la eficiencia, cuando se aplica el tratamiento variando el pH a 2, los rendimientos al variar sólo la temperatura están por debajo de los obtenidos al variar los dos parámetros. Por ejemplo, se observa que, para una cantidad de 10 g de adsorbente, la DQO ha sido removida en un 74.22% cuando solo se aplica el tratamiento de temperatura a 60°C, este porcentaje incrementa hasta 84.89% cuando se varía el pH a 2 y 60 °C. En contraparte, para el caso del CAG coco, en la mayoría de las cantidades usados ocurre lo contrario, la temperatura influye en mayor medida en la remoción de DQO, mientras que a pH ácido la remoción de DQO es baja.

**Tabla 5.** Mejores remociones de DQO, para CAG coco y CAG madera, variando la Temperatura y el pH.

Remoción de DQO (%) / tiempo / Temperatura / pH		
MEJORES REMOCIONES		
Cantidad de CAG	CAG COCO	CAG MADERA
0.1 g	29.94(1h) 80°C, pH 2	39.36 (1h) 80 °C, pH 7
0.5 g	32.64(1h) 60°C, pH 2	57.13(1h) 60 °C, pH 2
1g	40.33(1h) 60°C, pH 2	58.42(2h) 60°C, pH 7
5g	52.81(1h) 60°C, pH 7	80.65(2h) 80°C, pH 7
10g	63.20(1h) 60°C, pH 7	84.89(2h) 60°C, pH 2

## Conclusiones

En cuanto a los dos tipos de carbón activado que se probaron en este estudio, se concluye que el CAG de madera es mejor que el CAG de coco ya que presentó las mejores remociones de color y DQO, con mayor velocidad de reacción.

Las pruebas para evaluar la influencia de la temperatura y del pH en el proceso de adsorción mostraron que la temperatura de 80 °C influye positivamente en la remoción de color y DQO logrando mejores eficiencias en menor tiempo. En cuanto al efecto del pH, se encontró que a pH 2 el proceso de adsorción mejora notablemente.

Los mejores resultados en remoción de color y DQO se lograron con CAG de madera, a pH ácido y alta temperatura. Las condiciones óptimas de operación para el tratamiento del agua residual textil fueron a pH 2, 80 °C y 2h de tiempo de contacto, logrando un 92.59% de remoción de color

y 55.56% de remoción de DQO, con una dosis de CAG de madera de 10 g por Litro de agua residual.

Considerando que las temperaturas altas son una característica de las aguas residuales textiles, las pruebas experimentales muestran que esta condición puede beneficiar el proceso de adsorción con carbón activado, ya que el tiempo de equilibrio en el proceso de adsorción se reduce a alta temperatura.

## Agradecimientos

Se agradece al CONACYT por la beca otorgada para estudios de maestría, de Dulce Belén Acevedo Trejo.

## Referencias

- Belaid K. D., Kacha S., Kameche M., Derriche Z. (2013). Adsorption kinetics of some textile dyes onto granular activated carbon. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(3), 496–503. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.05.003>
- Chequer F. M. D., Oliveira G. A. R. De Ferraz E. R. A., Cardoso J. C., Zanoni M. V. B., Oliveira D. P. De. (2013). Textile Dyes: Dyeing Process and Environmental Impact. *Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing*, 151–176. <https://doi.org/10.5772/53659>
- Esteve-Turrillas F. A., de la Guardia M. (2017). Environmental impact of Recover cotton in textile industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 116, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.034>
- Jarusiripot C. (2014). Removal of Reactive Dye by Adsorption over Chemical Pretreatment Coal based Bottom Ash. *Procedia Chemistry*, 9, 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.05.015>
- Kant R. (2012). Textile dyeing industry an environmental hazard. *Natural Science*, 4, 22–26.
- Mahmoodi N. M., Hayati B., Arami M., Lan C. (2011). Adsorption of textile dyes on Pine Cone from colored wastewater: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Desalination*, 268(1–3): 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.10.007>
- Mahmoodi N. M., Salehi R., Arami M. (2011). Binary system dye removal from colored textile wastewater using activated carbon: Kinetic and isotherm studies. *Desalination*, 272(1–3): 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.01.023>

Peláez-Cid A. A., Herrera-González A. M., Salazar-Villanueva M., Bautista-Hernández A. (2016). Elimination of textile dyes using activated carbons prepared from vegetable residues and their characterization. *Journal of Environmental Management*, 181:269–278. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.026>

Simate G. S., Maledi N., Ochieng A., Ndlovu S., Zhang J., Walubita L. F. (2016). Coal-based adsorbents for water and wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(2): 2291–2312. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.03.051>

Wang Z., Xue M., Huang K., Liu, Z. (2011). Textile dyeing wastewater treatment in Treating Textile Effluent, Ed by 91–116. <https://doi.org/10.5772/22670>

Yukseler H., Uzal N., Sahinkaya E., Kitis M., Dilek F. B., Yetis U. (2017). Analysis of the best available techniques for wastewaters from a denim manufacturing textile mill. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.041>