

Adsorción del colorante anaranjado 2 GL sobre sílice activa elaborada a partir de cascarilla de arroz

Adsorption orange dye 2 GL on silica active made from rice husks

Cabrera Daniel¹; Camacho Oscar^{2,3}; Salvador Marcelo^{1,*}; Taco Sebastián¹

¹Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito, Ecuador

²Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, Ecuador

³Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería. Mérida, Venezuela

*marcelo.salvadorq@epn.edu.ec

Resumen

En el presente artículo se estudió el proceso de obtención de sílice activa utilizando como materia prima cascarilla de arroz para su uso como adsorbente del colorante anaranjado 2 GL. Para la obtención de la sílice activa, primero se realizó un tratamiento ácido a la cascarilla de arroz con HCl 0,1 M por 4 horas. Luego, se calcinó la cascarilla y se la molió en un molino de bolas. Se encontró que las mejores condiciones de calcinación y molienda son 800 oC y 1,5 h respectivamente. Se obtuvo una concentración de 95,57 % de dióxido de silicio. Por otra parte, al realizar la construcción de las isotermas de adsorción de Freundlich, se encontró una remoción máxima del colorante antes mencionado del 31,94 %, y las constantes de la isoterma de Freundlich para esta muestra fueron $n = 1,46$ y $K = 2,48$. Se llegó a la conclusión de que el proceso de adsorción es favorable.

Palabras clave: Cascarilla de arroz, sílice activa, anaranjado 2GL, adsorción, isotermas.

Abstract:

This paper studied the obtaining of active silica process using rice husk as a raw material, and to use it as an adsorbent of orange 2 GL dye. To produce active silica, the first acid treatment was performed rice husks with 0,1 M HCl for 4 hours. After that, rice husk was calcined, and it was milled in a ball mill. It was found that the best conditions of calcined and mill was 800 oC y 1,5 h, respectively. It was obtained a concentration of 95,57 % silicon dioxide. On the other hand, to make the construction of Freundlich adsorption isotherms, a maximum removal of the aforementioned dye was 31,94 %, and the constants of Freundlich isotherm for this sample were $n = 1,46$ and $K = 2,48$. To summarize, the adsorption process is favorable.

Keywords: Rice husk, active silica, orange 2 GL, adsorption, isotherms

1 Introducción

La producción de arroz es de 500 millones de t/año a nivel mundial. Considerando que la cascarilla corresponde al 20% en peso del arroz y que contiene aproximadamente el 20% de cenizas con alto contenido de sílice (SiO₂), se pueden obtener alrededor de 20 millones de t/año de SiO₂. Lo más importante es que la cascarilla de arroz se considera como un desecho, por lo que darle uso u obtener un producto resulta económico (Soltani y col., 2015). Por otra parte, la producción de cascarilla de arroz en el Ecuador es de aproximadamente 600 t/año y es un tipo de producto que se

lo puede encontrar a muy bajo precio e incluso gratis (Urquiza y col., 2011).

Además, se ha demostrado mediante estudios que los colorantes azoderivados como el anaranjado 2 GL son carcinógenos y mutagénicos, por lo que presentan un gran problema cuando se encuentran como contaminantes del agua (Singh 2015).

Por lo antes mencionado, se han realizado varias investigaciones para desarrollar adsorbentes económicos que ayuden a remover los contaminantes del agua. Arcos y col., 2007 obtuvieron SiO₂ a partir de cascarilla de arroz con un contenido de dióxido de silicio de 90,48 % y con una superficie específica de 277 m²/g aproximadamente. Obtuvieron

estos resultados sometiendo a la cascarilla a un tratamiento ácido con HCl 0,1 M por 4 h y calcinándola a 800 oC por 6 h. Por otro lado, Della y col. 2005 obtuvieron SiO₂ a partir de cenizas de cascarilla de arroz con una concentración de 94,95 % de SiO₂ y una superficie específica de 81 m²/g. Estos resultados se lograron calcinando las cenizas a 700 oC por 6 h y luego moliendo estas en un molino de bolas durante 80 min. Lakshmi y col., 2009 realizaron estudios de adsorción del colorante carmín índigo utilizando como adsorbente de cenizas de cascarilla de arroz, y encontraron que se puede remover hasta un 90,00 % del colorante partiendo de una concentración de 50 mg/L del mismo, con un pH₀ = 5,40 durante 8 horas en un reactor con agitación y con una concentración de cenizas de 10 g/L.

En el presente artículo se obtendrá SiO₂ activa para utilizarla como adsorbente del colorante anaranjado 2 GL. Se sintetizará la SiO₂ mediante un proceso de tratamiento ácido con HCl y con un proceso de tratamiento térmico. Se activará la SiO₂ antes mencionada mediante molienda húmeda en un molino de bolas y se evaluará el proceso de adsorción utilizando isoterms de Freundlich.

Este artículo se dividirá de la siguiente manera: La sección 2 es en la que se explicarán los pasos a seguir para la obtención de SiO₂ y su evaluación; en la sección 3 se detallarán los resultados obtenidos y se analizarán los mismos y en la sección 4 se presentarán las conclusiones.

2 Metodología

En la metodología se detallará el procedimiento experimental mediante el cual se alcanzaron los objetivos específicos para obtener SiO₂ activa y para evaluar la adsorción del colorante anaranjado 2 GL en el material antes mencionado.

2.1. Caracterización de la cascarilla de arroz

Se analizaron propiedades como cenizas, humedad y fibra cruda mediante las normas AOAC-923.03 Cenizas en Harinas, AOAC 925.10 Humedad en Cereales e ICC-STD-13 Fibra Cruda, respectivamente. Además, se analizó la cantidad de compuestos volátiles presentes en la cascarilla mediante la norma ASTM 3175-11 Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal Coke utilizando un horno tipo mufla marca WiseTherm. Luego, se realizó un análisis inmediato y mediante un balance de masa se determinó la cantidad de carbón fijo (Valverde y col., 2007).

Además, se realizó una disgregación ácida a las cenizas de cascarilla de arroz para cuantificar aluminio, calcio, sodio, hierro y potasio mediante espectrofotometría de absorción atómica utilizando un equipo de marca Perkin Analyst 300.

También se llevó a cabo un análisis termogravimétrico utilizando un equipo Shimadzu TGA-50 con el objetivo de determinar la pérdida de peso y descomposición de la casca-

rilla de arroz con la temperatura.

Por otra parte, se realizó un análisis de fluorescencia de rayos X para determinar el porcentaje de dióxido de silicio presente en la cascarilla de arroz. Se realizó este análisis utilizando un equipo de marca Bruker S8 Tiger.

2.2. Evaluación del proceso de remoción del colorante anaranjado 2 GL

Primero, se obtuvo SiO₂ activa utilizando como materia prima cascarilla de arroz, de una piladora de la ciudad de Santo Domingo, Ecuador. Se realizó un lavado con agua para retirar los sólidos gruesos presentes en la cascarilla de arroz. Luego, se trató la cascarilla con una solución de HCl 0,1 M, en reflujo y durante 4 horas. Se realizó este tratamiento para remover las impurezas metálicas presentes. Pasadas las 4 horas del tratamiento anterior, se lavó la cascarilla con agua destilada (Arcos y col., 2007).

Después de haber realizado los procesos descritos anteriormente, se trató la cascarilla a diferentes temperaturas, 600, 700 y 800 oC durante 6 horas, con el objetivo de aumentar la cantidad de dióxido de silicio y disminuir el material carbonoso presente. El proceso se realizó en un horno tipo mufla de marca WiseTherm (Della y col., 2005).

Luego de realizar el tratamiento térmico, se molió el producto de cada una de las temperaturas de calcinación durante 0,5, 1,0, y 1,5 horas, con el objetivo de aumentar la superficie específica del material y de esta manera obtener la SiO₂ activa para este proyecto. El proceso se llevó a cabo en un molino de bolas (Della y col., 2005).

Finalmente, se secó la SiO₂ activa obtenida, a 110 oC durante 24 horas siguiendo la norma ASTM D 3173-11 Standard Test method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke, en un horno tipo estufa de marca Pol-Eko.

La concentración de SiO₂ se determinó mediante análisis de fluorescencia de rayos X en un equipo de marca Bruker S8 Tiger.

Para evaluar el funcionamiento de la SiO₂ activa como adsorbente del colorante anaranjado 2GL se prepararon 3 concentraciones de dicho colorante: 100, 200 y 300 ppm. Se colocaron 40 mL de cada solución con 1 g de SiO₂ activa y se dejaron en agitación por 24 h. Luego de transcurrido este tiempo, se centrifugó por 10 min y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 415 nm utilizando un espectrofotómetro HITACHI U-1900.

Por otro lado, se utilizó la ecuación de Freundlich para evaluar el proceso de adsorción. La ecuación de Freundlich es:

$$\frac{x}{m} = KC^n \quad (1)$$

Donde:

x/m = capacidad de adsorción (mg de adsorbato/g de SiO₂)

activa)

$$x = \text{cantidad de soluto adsorbido (mg)} = (C_o - C_f)V$$

C_o = concentración inicial de soluto en la solución (mg/L)

C_f = concentración final de soluto en la solución (mg/L)

V = volumen de la solución (L)

m = masa de SiO_2 activa (g)

K, n = constantes empíricas para cada soluto y temperatura.

La ecuación de Freundlich también puede ser escrita de la forma:

$$\log\left(\frac{x}{m}\right) = \log(K) + \frac{1}{n}\log(C) \quad (2)$$

La Ecuación (2), es la forma de la ecuación de Freundlich que se utilizó para la construcción de las isotermas de adsorción.

Para la construcción de las isotermas, primero se realizó un análisis de la cinética de adsorción. Se dejó en agitación 40 mL de las soluciones de colorante antes mencionadas con 1 g de SiO_2 activa durante 3 h. Se midió la absorbancia de las muestras a los tiempos 0, 20, 40, 60, 80, 100 y 120 min respectivamente.

Analito	Resultados (%)
Sodio	0,57
Hierro	0,26
Magnesio	0,20
Potasio	0,20
Aluminio	0,18
Calcio	0,13

Luego, para la construcción de las isotermas de adsorción, se dejó en agitación por 4 h, 40 mL de la solución de colorante a las concentraciones dadas. Se varió la concentración de SiO_2 activa: 0,15; 0,25; 0,50; 0,75 y 1,00 g y se midió la absorbancia (Maldonado 2008).

3 Resultados y Discusión

3.1. Caracterización de la cascarilla de arroz

En la Tabla 1 se muestran los parámetros que se determinaron experimentalmente para caracterizar la cascarilla de arroz.

Como se detalla en la Tabla 2, todos los parámetros que se analizaron para caracterizar la cascarilla de arroz, se encuentran dentro de rangos que se han obtenido en estudios previos. Estos estudios fueron realizados por Valverde y col. 2007, Genieva y col., 2012, Soltani y col., 2015.

En la Tabla 3 se muestra el porcentaje de los elementos más comunes presentes en las cenizas de cascarilla de arroz. Todos los elementos se encuentran en porcentajes menores al 1,00 %, siendo el de mayor porcentaje el sodio con 0,57 % y el de menor valor el calcio con 0,13 %. Sus porcentajes pueden variar debido a factores geográficos, año de la cosecha, preparación de la muestra y métodos de análisis (Della y col., 2005).

Tabla 1. Composición de la cascarilla de arroz

Analito	Resultados (%)
Material Volátil	65,37
Fibra cruda	33,68
Cenizas	21,54
SiO_2	20,46
Carbón fijo	13,09
Humedad	9,91

Tabla 2. Comparación de la composición de la cascarilla de arroz

Analito	Resultados (%) Cabrera y col (2015)	Resultados (%) Valverde y col. (2007)
Material Volátil	65,37	51,98 - 67,70
Fibra cruda	33,68	25,89 - 39,05
Cenizas	21,54	16,92 - 24,60
SiO_2^*	20,46	20,20 - 25,81*
Carbón fijo	13,09	12,40 - 25,10
Humedad	9,91	8,00 - 15,00

*Genieva y col. (2012) y Soltani y col. (2015)

Tabla 3. Composición química de las cenizas de la cascarilla de arroz.

Analito	Resultados (%)
Sodio	0,57
Hierro	0,26
Magnesio	0,20
Potasio	0,20
Aluminio	0,18
Calcio	0,13

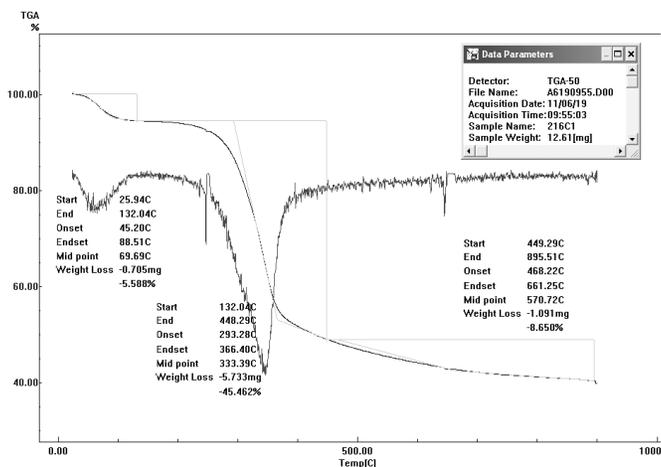


Fig. 1. Análisis termogravimétrico de la cascarilla de arroz

En la Fig. 1 se puede observar el análisis termogravimétrico de la cascarilla de arroz. En la curva de análisis térmico diferencial, se puede observar claramente un pico principal y dos picos secundarios.

El primer pico que corresponde a los 132 °C, tiene que ver con la pérdida de la humedad de la cascarilla. El segundo y principal pico ocurre a los 448 °C aproximadamente. Este pico corresponde a las reacciones que se dan en la parte orgánica de la cascarilla de arroz y a la pérdida del material volátil. El último pico ocurre a los 570 °C aproximadamente, cuando el peso de la muestra permanece prácticamente constante y empieza la formación del SiO₂ que se obtiene al finalizar el proceso de tratamiento térmico. De igual manera, en la curva de pérdida de peso, se observa que el peso empieza a mantenerse constante a los 570 °C, y que la mayor pérdida de peso se da entre los 135 y 450 °C aproximadamente.

3.2. Evaluación del proceso de remoción del colorante anaranjado 2 GL

Se determinó la pureza de la SiO₂ obtenida a las temperaturas de 600, 700 y 800 °C, mediante un análisis de fluorescencia de rayos X. Los resultados se detallan en la Tabla 4.

En la Tabla 5 se compara el porcentaje de SiO₂ obtenido por Soltani y col., 2015 con el de este estudio. Como se puede observar, existe una diferencia insignificante en los resultados de los dos estudios. La mayor diferencia se da entre los porcentajes obtenidos a 800 °C y es de 2,67 %. Esta pequeña diferencia pudo haberse suscitado debido a la normativa del análisis o a los equipos utilizados para el tratamiento térmico.

Tabla 4. Porcentaje de SiO₂ obtenida a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	SiO ₂ (%)
800	95,57
700	93,45
600	89,71

Tabla 5. Comparación del porcentaje de SiO₂ obtenida a partir de cascarilla de arroz.

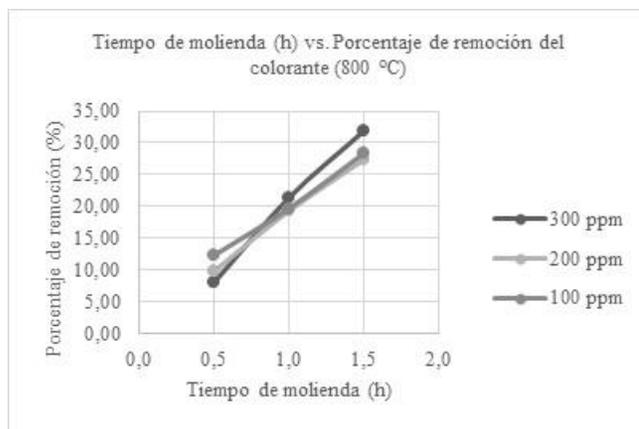


Fig. 2. Activación de la SiO₂ por molienda y porcentaje de remoción del colorante utilizando 25 g SiO₂/L. SiO₂ obtenida por calcinación a 800 oC

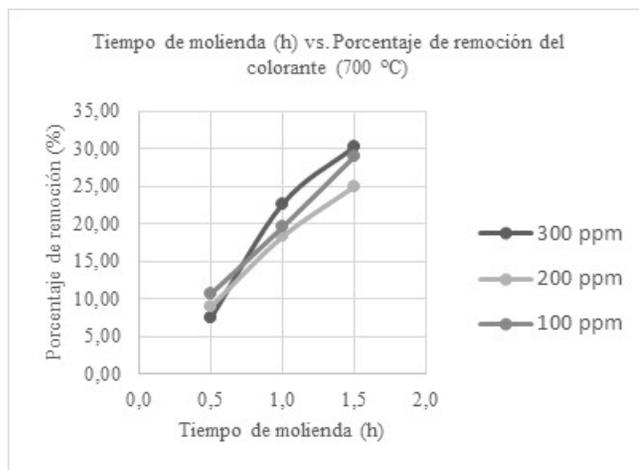


Fig. 3. Activación de la SiO₂ por molienda y porcentaje de remoción del colorante utilizando 25 g SiO₂/L. SiO₂ obtenida por calcinación a 700 oC

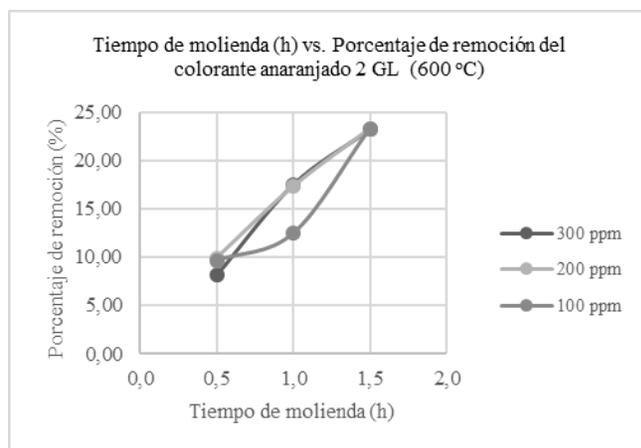


Fig. 4. Activación de la SiO₂ por molienda y porcentaje de remoción del colorante utilizando 25 g SiO₂/L. SiO₂ obtenida por calcinación a 600 °C.

Las Fig. 2, Fig. 3 y Fig. 4 corresponden a la activación que se realizó a la SiO₂ mediante molienda en un molino de bolas y la remoción del colorante anaranjado 2 GL durante 24 h en agitación.

La Fig. 2 antes mencionada, corresponde a la SiO₂ obtenida por calcinación a 800 °C. En esta Figura se puede observar que al tiempo de molienda 1,5 h y para la concentración inicial 300 ppm, se obtuvo un porcentaje de remoción del 32,00 %, lo que quiere decir que la concentración final del colorante luego de 24 h de agitación con la SiO₂ fue de 204,18 ppm. De la misma manera, para las concentraciones de 200 y 100 ppm el porcentaje máximo de remoción se obtuvo con la muestra de SiO₂ que se molió 1,5 h. El porcentaje mínimo de remoción fue de 8,12 % para la concentración de 100 ppm y un tiempo de molienda de 0,5 h.

Temperatura (°C)	SiO ₂ (%) Cabrera y col. (2015)	SiO ₂ (%) Soltani y col. (2015)
800	95,57	92,90
700	93,45	91,85
600	89,71	91,50

La Fig. 3 corresponde a la SiO₂ obtenida mediante un proceso de tratamiento térmico a 700 °C. En esta figura se puede observar que se obtuvo un porcentaje máximo de remoción del colorante de 30,00 % a la concentración de 300 ppm y para un tiempo de molienda de 1,5 h. El porcentaje

de remoción menor es de 8,00 % y corresponde a la concentración de 300 ppm y a un tiempo de molienda de 0,5 h.

En la Fig. 4 se pueden observar las curvas correspondientes a la SiO₂ obtenida a una temperatura de 600 °C. En la Fig. 4 se detalla que se obtuvo un rendimiento máximo del proceso de remoción de 24,00% en las 3 concentraciones, con un tiempo de molienda de 1,5 h, y un rendimiento mínimo de 8 % correspondiente a la concentración de 300 ppm y un tiempo de molienda de 0,5 h. El rendimiento ligeramente menor en este caso se debe a la concentración menor de SiO₂, como se puede observar en la Tabla 4.

En las tres figuras antes descritas se observa que la activación de la SiO₂ aumenta conforme aumenta el tiempo de molienda. Estos resultados se pueden corroborar con el estudio realizado por Della y col., 2005, ya que ellos llegaron a la conclusión de que la superficie específica de la SiO₂ aumenta de 54 a 81 m²/g con un tiempo de molienda de 1,33 h en un molino de bolas.

Por otra parte, en la Fig.5, se detalla la cinética de adsorción del colorante anaranjado 2 GL a tres concentraciones diferentes, en SiO₂ activa obtenida a 800 °C y 1,5 h de molienda. Como se puede observar, el proceso de adsorción dura 120 min, y la concentración del colorante empieza a mantenerse constante a partir de los 80 min del proceso. Este tiempo sirvió para la construcción de las isotermas de adsorción de Freundlich

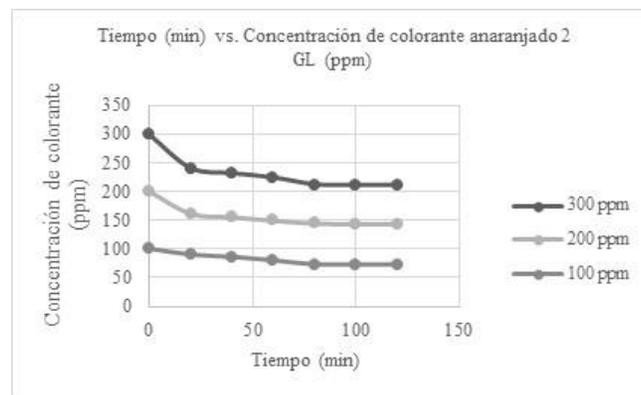


Fig. 5. Cinética de adsorción del colorante anaranjado 2 GL en SiO₂ utilizando 25 g SiO₂/L activa. SiO₂ obtenida por calcinación a 800 °C y 1,5 h de molienda.

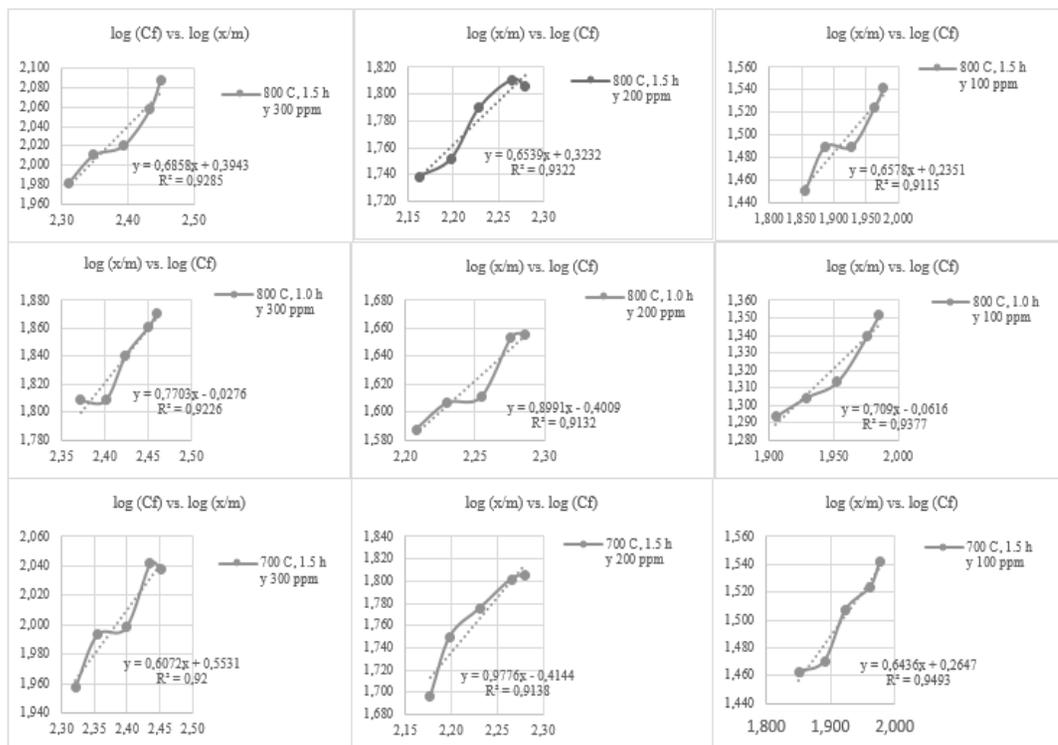


Fig. 6. Isotermas de adsorción de Freundlich a diferentes temperaturas de calcinación, tiempos de molienda y concentraciones de colorante.

En las Fig. 6 y Fig. 7 se muestran las isotermas de adsorción de Freundlich a diferentes temperaturas de calcinación, tiempos de molienda y concentraciones de colorante anaranjado 2 GL. Como se puede observar en las figuras antes mencionadas, la pendiente de todas las isotermas es menor a 1, este valor corresponde a la constante $1/n$ de Freundlich. El valor menor a 1 de la pendiente quiere decir que la adsorción del colorante anaranjado 2 GL en SiO_2 activa es favorable. El valor de la intersección b de la ecuación de la recta con la ordenada, corresponde a cada soluto a una temperatura dada que en este caso fue de 22°C , correspondiente a la temperatura ambiente. Además, se puede observar que en todas las curvas el valor de R^2 es cercano a 1 por lo que se puede concluir que la regresión lineal para la forma de la isoterma de Freundlich es favorable.

Por otra parte, en la Tabla 6 se presentan los resultados de las constantes antes mencionadas para cada uno de los casos considerados previamente. Las constantes de Freundlich $1/n$ y K indican la capacidad y la intensidad de adsorción respectivamente. Mientras más alto es el valor de $1/n$ mayor será la afinidad entre el adsorbato y el adsorbente y la heterogeneidad de los sitios adsorbentes. El valor de $1/n$ depende de la naturaleza y de la intensidad del proceso de adsorción. Por ejemplo, si el valor de $1/n = 0,90$ hace referencia a que el 90 % de los sitios activos de adsorción tienen igual energía. Los valores de $1/n < 1$ quieren decir que la adsorción de colorante anaranjado 2 GL en la SiO_2 activa

obtenida a partir de cascarilla de arroz es favorable para todas las temperaturas.

La heterogeneidad de la superficie se debe a la presencia de bordes cristalinos, varios tipos de cationes, cargas superficiales y al grado de cristalinidad. El efecto neto de los factores antes mencionados depende directamente de la temperatura. Por otra parte, cabe recalcar que la isoterma de Freundlich no predice la saturación de la superficie del adsorbente por el adsorbato. Además, los valores de la constante K pueden tomarse como un indicador relativo de la capacidad de adsorción de la SiO_2 activa obtenida a partir de cascarilla de arroz para una sub-región estrecha que tiene sitios de energía igualmente distribuidos para la sorción del colorante anaranjado 2 GL (Lakshmi y col., 2009).

Las muestras correspondientes a 800°C , 0,5 h; 100; 200 y 300 ppm; 700°C ; 0,5 h; 100; 200 y 300 ppm; 600°C ; 1,0 h y 100 ppm; y 600°C ; 0,5 h; 100; 200; y 300 ppm no se tomaron en cuenta debido a que no se pudieron construir las isotermas de adsorción de Freundlich por la dispersión de sus datos, por lo que los valores de R^2 de las regresiones lineales fueron muy lejanos a 1. Este fenómeno es debido al tiempo de molienda de 0,5 h que no logró activar la SiO_2 para realizar la adsorción, en el caso de las temperaturas de 700 y 800°C . Y en el caso de la temperatura de 600°C se dio debido a la diferencia de concentración de SiO_2 que es de casi el 6 % y también debido al tiempo de molienda de 0,5 h.

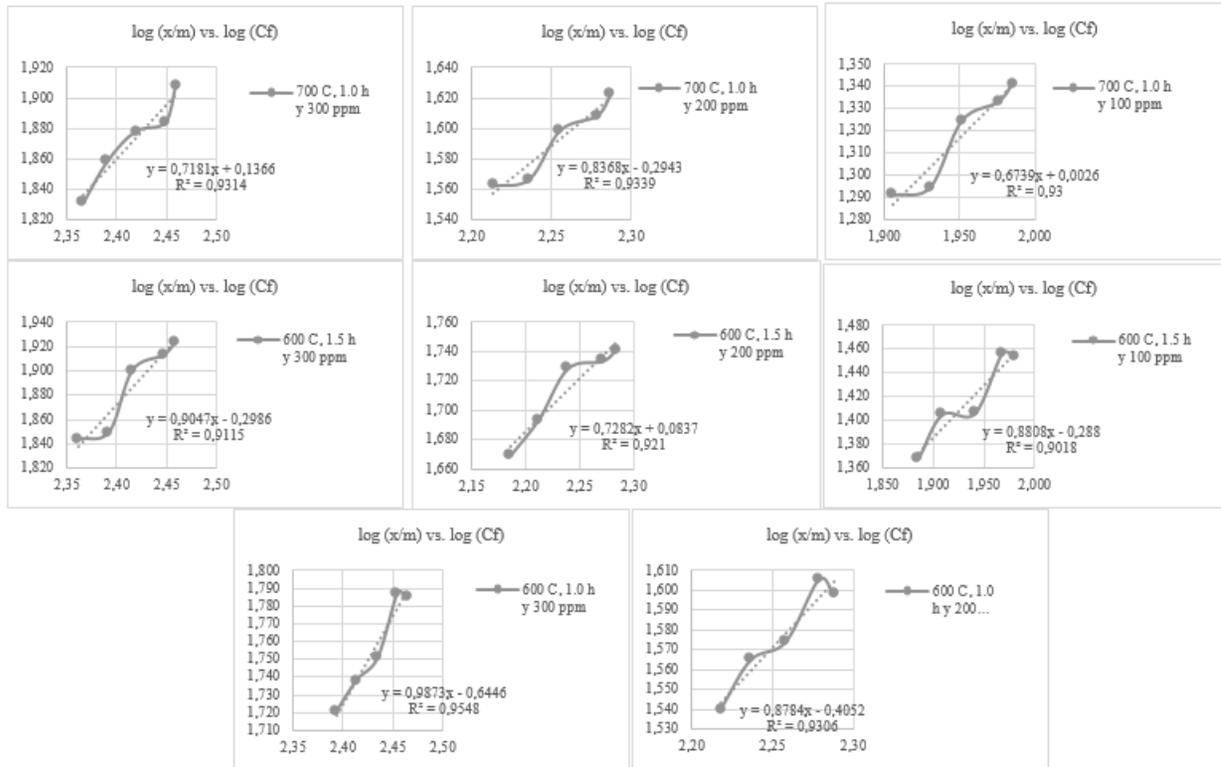


Fig. 7. Isotermas de adsorción de Freundlich a diferentes temperaturas de calcinación, tiempos de molienda y concentraciones de colorante.

Tabla 6. Adsorción del colorante anaranjado 2 GL sobre sílice activa elaborada a diferentes temperaturas de calcinación y tiempos de molienda.

700	1,0	300	235,67	21,44	0,7703	1,30	0,94
		200	161,32	19,34	0,8991	1,11	0,40
		100	80,34	19,66	0,7090	1,41	0,87
700	1,5	300	209,32	30,23	0,6072	1,65	3,57
		200	150,23	24,89	0,9776	1,02	0,39
		100	70,98	29,02	0,6436	1,55	1,84
700	1,0	300	232,24	22,59	0,7181	1,39	1,37
		200	163,47	18,27	0,8368	1,20	0,51
		100	80,47	19,53	0,6739	1,48	1,01
600	1,5	300	230,25	23,25	0,9047	1,11	0,50
		200	153,32	23,34	0,7282	1,37	1,21
		100	78,68	21,32	0,8808	1,14	0,52
600	1,0	300	247,41	17,53	0,9873	1,01	0,23
		200	165,32	17,34	0,8784	1,14	0,39

3.3. Análisis de los resultados

Se caracterizó la cascarrilla de arroz obteniendo un porcentaje de material volátil del 65,37 %, fibra cruda 33,68 %, cenizas 21,54 %, SiO₂ 20,46 % carbón fijo 13,09 % y humedad de 9,91 %.

Se obtuvo una concentración de 95,57 % de dióxido de silicio partiendo de una concentración de 20,46 %, tratando la cascarrilla de arroz con HCl 0,1 M por 4 horas y calcinando está a 800 °C por 6 horas.

Se encontró que el tiempo de adsorción máxima de colorante anaranjado 2 GL en SiO₂ activa obtenida a partir de cascarrilla de arroz es de 2 h.

Se obtuvo un porcentaje de remoción máximo de colorante anaranjado 2 GL del 31,94 % utilizando SiO₂ activa obtenida con un tratamiento ácido con HCl 0,1 M por 4 h, calcinación a 800 °C durante 6 h y 1,5 h de molienda.

Se evaluó la remoción del colorante anaranjado 2 GL y se encontró que la isoterma para la muestra que presentó el porcentaje mayor de adsorción, es decir el 31,94 %, mostró una constante $n = 1,46$ y una constante $K = 2,48$.

4 4. Conclusiones y Recomendaciones

En el presente trabajo se caracterizó la cascarilla de arroz mediante la obtención del porcentaje de material volátil, fibra cruda, cenizas, SiO₂, carbón fijo y humedad. Además, se realizaron análisis termogravimétrico y de absorción atómica. Se compararon estos resultados con los de estudios realizados anteriormente y se encontró que las diferencias son despreciables. Se consiguió obtener sílice activa utilizando como materia prima cascarilla de arroz a partir de la metodología descrita anteriormente. También, se demostró mediante la construcción de isothermas de adsorción de Freundlich, que la sílice activa de este estudio sirve como adsorbente del colorante anaranjado 2 GL. Se obtuvo un porcentaje de remoción máximo del colorante antes mencionado del 32 % para una temperatura de calcinación de 800 °C, 1,5 h de molienda y una relación de 25 g SiO₂/L de solución de 300 ppm de colorante.

Realizar estudios posteriores para reciclar los gases provenientes del proceso de calcinación. Se podrían utilizar dichos gases para realizar un precalentamiento en el proceso de reflujo ácido.

5 Agradecimiento

Oscar Camacho agradece al Proyecto Prometeo de la Secretaria de Educación Superior, Ciencia Tecnología e Innovación de la República del Ecuador, por su patrocinio para la realización de este trabajo.

Referencias

- Arcos CA, Macías D y Rodríguez JE, 2007, La cascarilla de arroz como fuente de SiO₂. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, (41), 7-20.
- AOAC 923.03, 2005, Cenizas en harinas.
- AOAC 925.10, 2005, Humedad en cereales.
- ASTM D 3173-11, 2011, Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke.
- ASTM 3175-11, 2011, Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke.
- Della VP, Kühn I y Hotza D, 2005, Rice husk ash as an alternate source for active silica production. Materials Letters, 57(4), 818-821.
- Genieva S, Turmanova S, Dimitrov A, Petkov P, y Vlaev L, 2012, Thermal degradation of rice husks on a pilot plant: utilization of the products as adsorbents for oil spill clean-up. Journal of thermal analysis and calorimetry, 110(1), 111-118.
- ICC-STD-13, 2005, Fibra cruda.
- kshmi UR, Srivastava VC, Mall ID, y Lataye DH, 2009, Rice husk ash as an effective adsorbent: Evaluation of adsorptive characteristics for Indigo Carmine dye. Journal of Environmental Management, 90(2), 710-720.
- Maldonado SL, 2008, Estudio de la remoción de detergentes aniónicos tipo sulfato con carbón activado. Trabajo previo a la obtención de Ingeniero Químico. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Singh SN, (Ed.). 2015, Microbial Degradation of Synthetic Dyes in Wastewaters. Springer Cham Heidelberg. New York.
- Soltani N, Bahrami A, Pech-Canul MI y González LA, 2015, Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials. Chemical Engineering Journal, 264, 899-935.
- Urquiza IJ, Acero H, y Rodríguez J, 2011, Reemplazar el uso de diesel por cascarilla de arroz empleado para generación de vapor. aspectos técnicos y económicos. Revista Tecnológica ESPOL. Recuperado de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19195>
- Valverde, A., López, B. S., y Yanes, J. P. M. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. Scientia et Technica, 5(37), 255-260.

Recibido: 15 de enero de 2016

Aceptado: 10 de mayo de 2016

Cabrera Daniel: Ingeniero Químico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) de Ecuador. Durante su vida estudiantil, trabajó en el Proyecto de Plan de Mejoras Prácticas de la Refinería Estatal de Esmeraldas. En el año 2015 y parte del 2016, se desempeñó como Asistente de Investigación en el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social de la EPN. También, formó parte del Comité de Apoyo Editorial de la Revista Politécnica de la EPN. email: dc_nelo264@hotmail.com

Camacho Oscar: recibió el título de Ingeniero Electricista en la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela en 1984. Recibió el MSc. en Ingeniería de Control en ULA en 1992. En 1994 obtuvo el M. E. en Ingeniería Química y en 1996 Ph.D. en Ingeniería Química, ambos en University of South Florida(USF), EEUU. Desarrollo actividades postdoctorales en USF en 2001. Se ha desempeñado en la docencia e investigación en la ULA y PDVSA (Venezuela), USF (USA) y EPN (Ecuador). Su interés en investigación incluye control por modo deslizante, sistemas de control para procesos con elevado tiempo de retardo, control de

procesos químicos.
email:ocamacho@ula.ve;oscar.camacho@epn.edu.ec

Salvador Marcelo: Ingeniero Químico, MSc. en Sistema de Transporte de Crudo y sus Derivados, ambos títulos obtenidos en la Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito Ecuador. Ha trabajado en CAMINOSCA PETROAMAZONAS EP, Inspector QAQC de tubería y herramientas de perforación; analista del Laboratorio de Metalografía y Corrosión de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN. Actualmente es Docente de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria de la EPN, desempeñando labores como Jefe del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Taco Vásquez Sebastián: obtuvo su título de Ingeniero Químico en la Escuela Politécnica Nacional en Quito-Ecuador en el 2007. En el 2009 obtuvo su Maestría en Ingeniería Química en Texas A&M, Estados Unidos. Culminó sus estudios de doctorado obteniendo el título de PhD en el 2013 en la misma universidad de Texas A&M. Su investigación se focaliza en catálisis e ingeniería de la reacción para la obtención de combustibles a partir de la biomasa. email: sebastian.taco@epn.edu.ec

