

# EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE UN COLORANTE AZO SOBRE TUZA DE MAÍZ MEDIANTE DISEÑO ESTADÍSTICO

## EVALUATION OF THE REMOVAL OF AN AZO DYE ON CORNCOB BY STATISTICAL DESIGN

*ANGELINA HORMAZA<sup>\*</sup>, DANILO FIGUEROA<sup>A</sup>  
y ANDERSON MORENO<sup>I</sup>*

Recibido 07-07-12, aceptado 27-07-12, Versión final 30-07-12.

**RESUMEN:** En la metodología de adsorción, materiales de bajo costo, gran disponibilidad e impacto ambiental favorable han sido investigados como adsorbentes potenciales en la remoción de colorantes disueltos. En este trabajo se evaluó la remoción del colorante azotartrazina mediante adsorción sobre el residuo agrícola tuza de maíz bajo sistema discontinuo. Las variables de estudio incluyeron dosificación de adsorbente, concentración de colorante y tiempo de contacto. El valor de pH, temperatura, agitación y tamaño de partícula se mantuvieron constantes. El contenido del colorante se cuantificó por medio de espectrofotometría Ultravioleta-Visible. Se implementaron dos diseños factoriales  $2^3$  con y sin punto central y posteriormente un diseño de superficie central compuesto para la optimización del proceso, cuyo modelo estadístico presentó un adecuado coeficiente de ajuste ( $R^2 = 0.9897$ ) y permitió obtener una remoción del 99.1%, para una concentración inicial de colorante de  $20.0 \text{ mg L}^{-1}$ , una dosificación de adsorbente de  $19.6 \text{ g L}^{-1}$  en un tiempo de contacto de 123 minutos, señalando que la tuza de maíz representa una buena opción de adsorbentes alternativos para la remoción de colorantes.

**PALABRAS CLAVE:** Adsorbentes alternativos; Diseño estadístico; Remoción de colorantes; Tartrazina; Tuza de maíz.

**ABSTRACT:** In the adsorption methodology, low cost, wide availability and favorable environmental impact adsorbents have been investigated for the removal of dissolved dyes. This study evaluated the removal of azo dye tartrazine through adsorption on agricultural waste corncob under batch system. The studied variables included adsorbent dosage, dye concentration and contact time. The pH value, temperature, agitation and particle size remained constant. The dye content was quantified by UV-Visible spectrophotometry. Two factorial design  $2^3$  with and without central point were implemented and then a central composite surface design was used for process optimization, which statistical model showed a suitable adjustment coefficient ( $R^2 = 0.9897$ ) and allowed to achieve a removal of 99.1% at initial concentration of dye  $20.0 \text{ mg L}^{-1}$ , adsorbent dosage of  $19.6 \text{ g L}^{-1}$  and contact time of 123 minutes, pointing out that the corncob is a good option of alternatives adsorbents for the removal of dyes.

**KEYWORDS:** Alternative adsorbents, Corncob; Removal of dyes; Statistical design; Tartrazine.

<sup>1</sup> SIRYTCOR, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Calle 59A No 63-20 Medellín, Colombia.  
*\* ahormaza@unal.edu.co.*

## 1 INTRODUCCIÓN

Muchas industrias como la alimentaria, farmacéutica, cosmética, textil, pinturas y cueros, entre otras, utilizan considerables cantidades de colorantes sintéticos y pigmentos para los acabados finales de sus productos. El vertimiento de sus efluentes sin tratamiento previo ocasiona graves repercusiones tanto ambientales como socio-económicas debido al deterioro de la vida acuática del ecosistema circundante. Cantidades mínimas de colorante, incluso en una concentración de 1 ppm, son suficientes para ocasionar un impacto estético negativo del medio ambiente (Crini, 2006). No obstante, la repercusión más drástica de su presencia se verifica en los procesos fotosintéticos, donde una reducción en la penetración de la radiación solar impide los procesos de auto-regeneración del recurso hídrico, afectando la biota acuática (Brown, 1987; Walsh *et al.*, 1980).

Los colorantes azo y sus pigmentos son considerados como el grupo químico más grande de los actualmente existentes, se estima un número cercano a los 26.000 tintes. Varios estudios han mostrado mediante pruebas con animales que el grupo azo es un causante de cáncer, por tanto, se prevé su efecto carcinógeno en seres humanos (Tripathi *et al.*, 2009). A este grupo de compuestos pertenece la Tartrazina (TA), colorante que por su tonalidad amarillo-naranja tiene un uso extensivo en la industria alimentaria y de cosméticos, en productos de repostería, derivados cárnicos, sopas preparadas, conservas vegetales, salsas y helados entre otras (A. Ruiz *et al.*, 2008a; A. Mittal *et al.*, 2007). Su consumo se ha visto desfavorecido por algunos posibles efectos secundarios, que motivan la pronta inclusión de aclaraciones como “este producto contiene tartrazina, que puede producir reacciones alérgicas, tipo de angioedema, asma, urticaria y shock anafiláctico” (A. Ruiz *et al.*, 2008b).

Métodos de tratamiento no convencionales para la remoción de TA tales como la electrocoagulación y degradación fotoquímica han mostrado elevados porcentajes de remoción de este colorante azo (A. Ruiz, 2011; A. Ruiz *et al.*, 2008a; V. K. Gupta *et al.*, 2011), sin embargo, estas metodologías tienen asociadas desventajas como elevados gastos de operación, formación de derivados tóxicos y / o cancerígenos debido al fraccionamiento de la molécula, generación de lodos coASDFJKLÑÇ213n el subsecuente problema de acumulación y la dificultad en su escalado(Rafatullah *et al.*, 2010; Nigam *et al.*, 2000; V K Gupta & Suhas, 2009).

La adsorción, como método físico-químico, ha mostrado ser una alternativa de tratamiento altamente eficiente, económica y de fácil operación para la separación de contaminantes disueltos, que además posibilita la recuperación, reciclamiento y re-utilización del material adsorbente (Noroozi *et al.*, 2008; Yeddou & Bensmaili, 2005). Todas estas características han hecho que la técnica de adsorción adquiera una gran importancia como método de tratamiento y paralelamente han motivado la exploración de materiales alternativos al carbón activado, que tradicionalmente ha sido utilizado como adsorbente (Robinson *et al.*, 2002; Crini, 2006; V. K. Gupta & Suhas, 2009). Así, nuevos materiales han sido evaluados como potenciales adsorbentes. En particular, los residuos agroindustriales han mostrado una alta capacidad de remoción de una amplia variedad de colorantes y de metales pesados (V. K. Gupta & Suhas, 2009; Srinivasan & Viraraghavan, 2010). Como bondades adicionales de esta alternativa cabe mencionar, la remoción de la molécula completa del contaminante y la utilización de materia prima, usualmente poco aprovechada, de amplia disponibilidad y bajo costo.

El maíz es uno de los cultivos con mayor producción en el mundo, generando residuos agrícolas como tuza de maíz (TM), hoja y bagazo de maíz, los cuales son incinerados en una gran proporción (Zheng

*et al.*, 2010). La TM es por tanto un subproducto agrícola renovable, ampliamente disponible y de bajo costo, para el cual se han reportado capacidades de adsorción de colorantes y metales pesados tanto para el material nativo como para el modificado, que señalan su uso alternativo como potencial adsorbente (Miretzky & Cirelli, 2010; Nigam *et al.*, 2000; V. K. Gupta & Suhas, 2009; A. Mittal *et al.*, 2006).

El propósito del presente trabajo es evaluar la remoción del colorante azotartrazina sobre el residuo agrícola tuza de maíz, mediante un Diseño Estadístico de Experimentos, DEE. En particular, se llevaron a cabo inicialmente dos diseños factoriales  $2^3$  con y sin punto central, considerando como variables principales, el tiempo de contacto, dosis de adsorbente y concentración inicial de colorante, y por último un diseño de superficie central compuesto. Estas herramientas estadísticas posibilitaron obtener un modelo adecuado para la optimización de este proceso de adsorción y con ello alcanzar el mayor porcentaje de remoción posible del colorante de estudio.

## 1.1 Materiales

### 1.1.1 Preparación del material adsorbente

La TM fue obtenida en un mercado local de la ciudad. Su pre-tratamiento incluyó varios enjuagues con agua destilada, un posterior secado a 60 °C por 24 horas en un horno de convección forzada y su reducción de tamaño en un molino de aspas, seleccionando por tamizado tamaños de partícula entre 0.30 y 0.71 mm. Posteriormente, se realizaron dos lavados con agua destilada y disolución de peróxido de hidrógeno (0.1%) hasta obtener el material libre de materia orgánica, luego se procedió a su secado a una temperatura de 80°C durante 48 h en un horno de convección forzada y finalmente el material fue almacenado herméticamente para los ensayos de adsorción.

### 1.1.2 Análisis y preparación del colorante

La TA es un colorante azoico con un grupo sulfónico polar y altamente soluble, cuya fórmula molecular es  $C_{16}H_9N_4Na_3O_9S_2$ , que corresponde a un peso molecular de 534.36 g mol<sup>-1</sup>, Figura 1, (A. Mittal *et al.*, 2006); este colorante fue obtenido de una industria local. Su solución se preparó en un balón volumétrico de 250 mL con 50.0 mg de este tinte y agua desionizada, manteniendo una agitación constante durante 15.0 min. La concentración fue determinada mediante espectrofotometría Ultravioleta-Visible (Uv-Vis), usando el método lineal con el espectrofotómetro Uv-Vis Perkin-Elmer Lambda 35 a la longitud de onda de máxima absorbancia correspondiente a  $\lambda_{\text{máx}} = 428$  nm. El pH de la disolución se ajustó a un valor de 2.0 con soluciones de NaOH y HCl de concentración 0.1 N. Con base en estudios previos que mostraron una mayor remoción para este contaminante, se fijaron las unidades de pH a un valor de 2.0, el cual también ha sido reportado con otros adsorbentes (A. Mittal *et al.*, 2007; A. Mittal *et al.*, 2006).

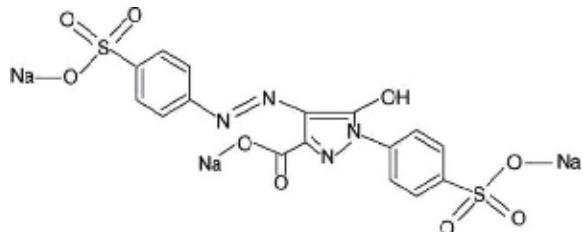


Figura 1: Estructura molecular del colorante TA.

### 1.1.3 Ensayos de adsorción

La remoción de la TA se llevó a cabo bajo sistema discontinuo y a un valor fijo de pH = 2.0, como se presentó previamente. Cada ensayo se realizó en recipientes de vidrio con capacidad de 100 mL, tomando 20.0 mL de la solución de TA para preparar una suspensión de partículas del material adsorbente, con los siguientes factores a analizar: dosificación de adsorbente D ( $\text{g L}^{-1}$ ), concentración inicial del colorante  $C_0$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) y tiempo de contacto T (min). Manteniendo los parámetros fijos de agitación constante (125 rpm) en un agitador Heidolph, temperatura ambiente ( $26 \pm 2^\circ\text{C}$ ) y tamaño de partícula entre 0.30-0.71 mm. Al transcurrir el tiempo requerido, se tomó una alícuota, se centrifugó y se realizó la medición de la concentración al sobrenadante.

## 1.2 Métodos

### 1.2.1 Diseño de experimentos

El diseño estadístico de experimentos, permite determinar tanto las variables más significativamente influyentes en el sistema, así como su correlación. En el presente estudio se utilizó la combinación del diseño factorial y la metodología de superficie respuesta, permitiendo observar los efectos asociados de todos los factores del proceso en menor tiempo, con número menor de experimentos y por tanto, menores costos para su ejecución en comparación con los requeridos por el método clásico univariado.(D.C. Montgomery, 2005)

Los parámetros más influyentes en el proceso fueron evaluados mediante diseño factorial, cuya variable de respuesta, porcentaje de remoción de la TA, %Rem, se calculó mediante la ecuación (1), que muestra el cambio porcentual en la concentración de TA, una vez concluido el experimento bajo las condiciones de cada factor y del diseño de experimentos respectivo.

$$\% \text{Rem} = 100 * (C_0 - C_f) / C_0. \quad (1)$$

Donde  $C_0$  y  $C_f$  son la concentración inicial y final del colorante respectivamente.

### 1.2.2 Diseño factorial

El diseño factorial se debe cribar en función de su influencia de respuesta, considerando su significancia estadística, de tal forma que permita determinar los efectos e interacciones de las variables más influyentes en el sistema y la importancia de los factores evaluados en un mismo tiempo.

En primera instancia se realizó un diseño factorial  $2^3$ , en la Tabla 1 se muestra los niveles de los respectivos factores, donde cada ensayo se llevó a cabo con 2 réplicas, resultando un total de 24 muestras. Posteriormente, se efectuó un diseño factorial  $2^3$  con punto central, cuyos niveles para los respectivos factores se detallan igualmente en la Tabla 1, también con 2 réplicas, resultando un total de 27 muestras.

Tabla 1: Valores de los respectivos factores en los DEE

	Factorial 2 <sup>3</sup>		Factorial 2 <sup>3</sup> + punto central		
	Bajo	Alto	Bajo	Central	Alto
T (min)	60.0	300	30.0	90.0	210
C <sub>0</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	10.0	35.0	8.0	14.0	20.0
D (g L <sup>-1</sup> )	2.0	10.0	5.0	10	15.0

### 1.2.3 Diseño de superficie

El propósito de esta técnica es diseñar un experimento que proporcione valores lógicos de la variable respuesta, con el fin de determinar el modelo matemático que mejor se ajusta a los datos obtenidos.

Se escogieron las variables T y D debido a que resultaron ser las más influyentes en los diseños factoriales anteriores. Se construyó con ellas un diseño de superficie central compuesto, cuyos niveles para los respectivos factores se describen en la Tabla 2. De forma similar a los ensayos previos, se realizaron 2 réplicas, resultando un total de 30 muestras, para este caso se mantiene la concentración inicial fija en un valor de 20.0 mg L<sup>-1</sup>.

Tabla 2: Valores de los factores en el diseño de superficie central compuesto

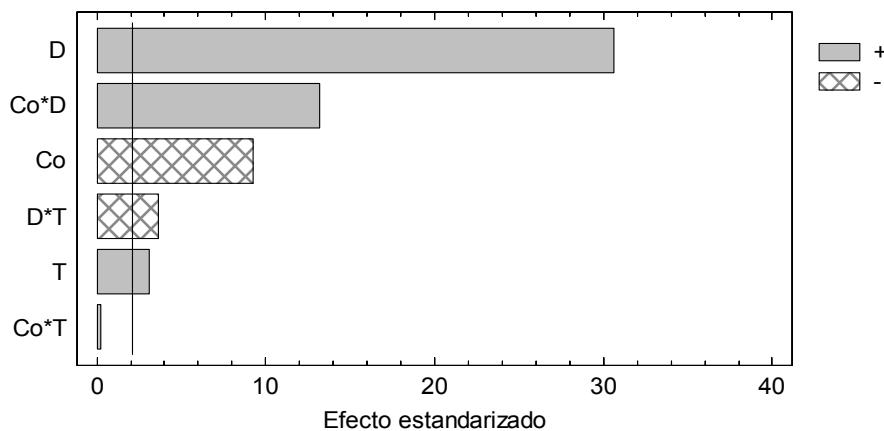
	Niveles	
	Bajo	Alto
T (min)	25.0	120
D (g L <sup>-1</sup> )	5.0	20

La elaboración y análisis de los diseños experimentales fueron realizados con el software Statgraphics Centurion XVII versión 16.1.18. Licencia, edición de evaluación gratuita.

## 2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.1 Diseño factorial 2<sup>3</sup>

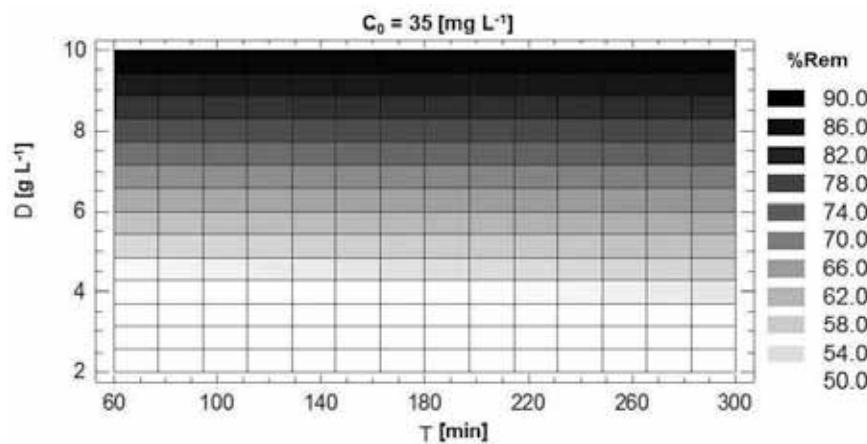
En el diagrama de Pareto, Figura 2, se observa consecutivamente los factores de mayor a menor significancia, donde las columnas que sobrepasan la línea vertical (línea de significancia), señalan que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%, dado por los valores-P del análisis ANOVA. En este caso, todos los factores e interacciones fueron influyentes en la respuesta %Rem, excepto la interacción entre C<sub>0</sub> y T. Adicionalmente, los factores D y T y la interacción entre C<sub>0</sub> y T son positivas, es decir que un incremento de estas variables provoca un aumento en el porcentaje de remoción. Este efecto se logra apreciar en el contorno de superficie de la Figura 3, pues a mayores dosis de adsorbente es mayor el porcentaje de remoción. Sin embargo, el factor C<sub>0</sub> y la interacción entre D y T presentan un valor negativo, que muestra su aporte en la disminución del porcentaje de remoción con el incremento de sus valores.

Figura 2: Diagrama de Pareto para el %Rem del diseño factorial  $2^3$ .

Como resultado del diseño factorial  $2^3$ , el modelo ajustado, Ecuación (2), en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Gráficamente se observa dicha representación en la Figura 3, para un valor específico de  $C_0$  de  $35.0 \text{ mg L}^{-1}$ .

$$\% \text{Rem} = 64.938 + 0.0421T - 1.4345C_0 + 1.8928D - 0.0047TD + 0.1611C_0D. \quad (2)$$

Según este modelo la mejor remoción posible es del 90.0%, alcanzándose en el intervalo de las variables analizadas, este valor se obtiene para un T de 60.0 min, una  $C_0$  de  $35.0 \text{ mg L}^{-1}$  y una D de  $10 \text{ g L}^{-1}$ . Buscando alcanzar mayores porcentajes de remoción se exploran valores más altos para la variable D. Por otro lado, dado que el tiempo de contacto es bastante prolongado (60.0-300 minutos) y en este intervalo su efecto no es tan significativo, se decidió evaluar valores menores tanto para este factor como para la  $C_0$ .

Figura 3: Contornos de la superficie de respuesta estimada del diseño factorial  $2^3$ .

La correlación del ajuste del modelo ofreció una buena  $R^2$  de 0.9836, no obstante, el resultado de un diseño factorial de cribado  $2^k$  carece de puntos intermedios que verifiquen la linealidad entre los niveles, por tanto se planteó la construcción de un diseño factorial completo, es decir con la adición de un punto central, donde además se incluyó un desplazamiento de los intervalos estudiados con el fin de alcanzar mayores porcentajes de remoción según el comportamiento obtenido.

## 2.2 Diseño factorial $2^3$ con punto central

Mediante el diagrama de Pareto, Figura 4, se encontró que los factores D y T, y todas las interacciones tuvieron influencia significativa en el porcentaje de remoción. Cabe resaltar que el tiempo requerido para la retención del colorante fue el segundo factor de mayor influencia después de la dosis de adsorbente, estos dos factores contribuyen el aumento del % Rem, con el incremento de sus valores. Asimismo, se aprecia que la concentración inicial de TA no tuvo significancia.

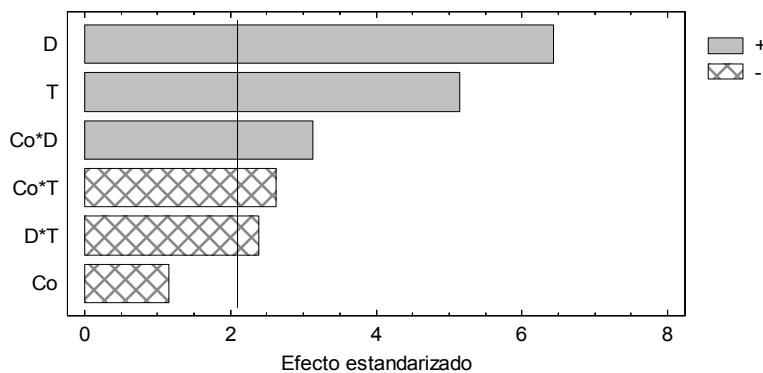


Figura 4: Diagrama de Pareto para el %Rem del diseño factorial  $2^3$  con punto central.

El modelo ajustado, Ecuación (3), del diseño factorial  $2^3$  con punto central, gráficamente se observa esta representación en la Figura 5, para un valor de  $C_0$  de  $8.0 \text{ mg L}^{-1}$ .

$$\% \text{Rem} = 73.989 + 0.1660T + 0.4319D - 0.0049TD - 0.0045TC_0 + 0.0971DC_0. \quad (3)$$

Según este modelo, los valores óptimos para alcanzar el mayor porcentaje de remoción del 99.0%, requieren un tiempo de contacto de 210 minutos, una concentración inicial de  $8.0 \text{ mg L}^{-1}$  y una dosis de  $15 \text{ g L}^{-1}$  de adsorbente. Esto se aprecia por la zona sombreada, a los valores más altos de T y D de la Figura 5.

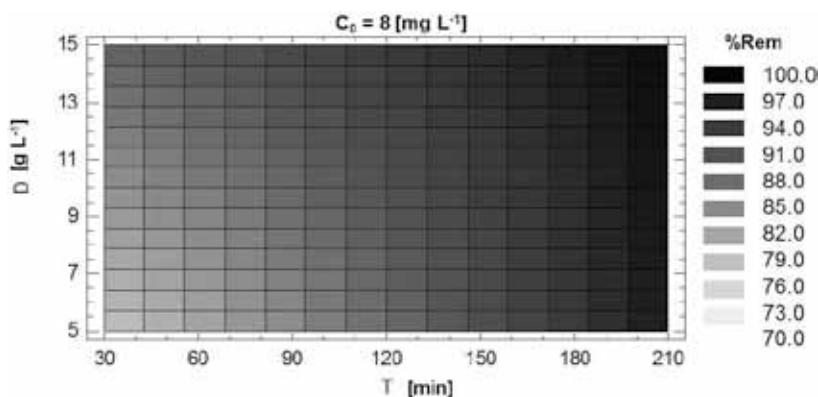


Figura 5: Contornos de la superficie de respuesta estimada del diseño factorial  $2^3$  con punto central.

Para este caso, el coeficiente de correlación fue más bajo con un valor de  $R^2 = 0.8026$ , este menor ajuste se atribuye a la inclusión de un punto central en el modelo y sugiere que dicho modelo no es adecuado para representar el %Rem en el interior de los intervalos de los factores analizados. Por tanto, se planteó realizar un diseño que pueda representar hasta un segundo orden, mediante la construcción de un diseño de superficie, en donde se fija la concentración inicial del colorante a un valor de  $20.0 \text{ mg L}^{-1}$ , ya que esta variable no mostró significancia en el experimento previo (Figura 4). Asimismo, para conseguir un mayor %Rem, en el siguiente diseño de superficie de respuesta se evaluó la variable D en un intervalo que incluye valores más altos ( $5.0\text{--}20 \text{ g L}^{-1}$ ) con respecto a diseños previos.

## 2.3 Diseño de superficie

La variable más significativa resultó ser la dosis de TM, tal como se observa en el diagrama de Pareto, Figura 6, seguido del factor de segundo grado para D, cuyo signo negativo evidencia la presencia de un máximo del %Rem en el intervalo analizado. Por su parte, el factor tiempo de contacto mostró ser significativamente influyente en el intervalo de estudio, en tanto que las demás interacciones no resultaron ser significativas.

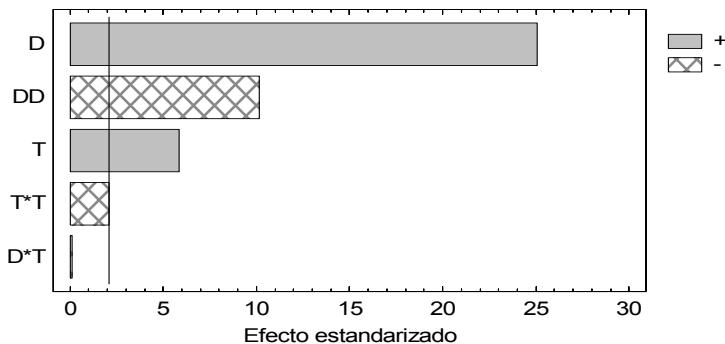


Figura 6: Diagrama de Pareto estandarizado del diseño de superficie central compuesto.

El modelo obtenido, Ecuación (4), del diseño de superficie central compuesto, gráficamente se presenta en la Figura 7.

$$\% \text{Rem} = 14.392 + 0.2351 \text{ T} + 7.1579 \text{ D} - 0.1809 \text{ D D}. \quad (4)$$

Es de resaltar que este modelo ofrece un máximo porcentaje de remoción,  $\% \text{Rem} = 99.1$ , para el intervalo analizado y las variables consideradas. En particular, este elevado porcentaje de remoción fue alcanzado para un tiempo de contacto de 123 minutos y una dosificación de  $19.6 \text{ g L}^{-1}$  de adsorbente.

De igual forma, este modelo da lugar a un adecuado ajuste, obteniendo un coeficiente de correlación  $R^2 = 0.9728$ . No obstante, es necesario analizar el gráfico de probabilidad normal para residuos, ya que se debe mostrar un comportamiento lineal en su probabilidad, teniendo en cuenta que no hay sesgo del método (ver Figura 8). El sesgo es una expresión de la inexactitud del método y representa el error sistemático total. En este caso, se observa una tendencia lineal en la probabilidad normal a lo largo de las muestras, por tanto no hay sesgo en la medición.

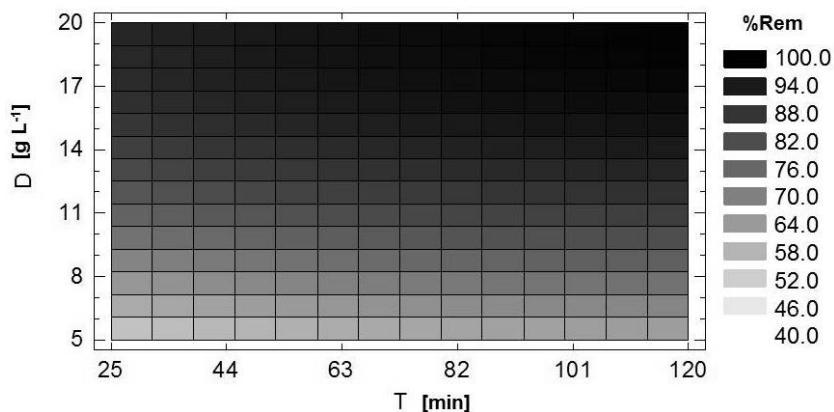


Figura 7: Contorno de respuesta estimada del diseño de superficie central compuesto.

### 3 CONCLUSIONES

El residuo agrícola TM mostró una elevada capacidad adsorbente para el colorante TA, permitiendo alcanzar porcentajes de remoción del orden del 99.1%, para una concentración inicial de colorante de  $20.0 \text{ mg L}^{-1}$ , una dosificación de adsorbente de  $19.6 \text{ g L}^{-1}$  en un tiempo de contacto de 123 minutos. Estos resultados señalan que la TM puede relacionarse como un adsorbente alternativo en la retención de colorantes de naturaleza azoica.

El diseño factorial completo de cribado 2<sup>3</sup> permitió puntualizar los factores más influyentes en la adsorción del colorante TA sobre TM, la adición posterior de punto central confirmó la presencia de una curvatura entre el nivel mayor y menor para cada factor. Finalmente, el diseño de superficie central compuesto, con un número mayor de ensayos, permitió ajustar un modelo de segundo orden con un adecuado coeficiente de correlación ( $R^2 = 0.9728$ ), así como la obtención del mayor porcentaje de remoción del colorante de estudio.

Se sugiere la realización de isotermas de adsorción para el análisis y comparación de la capacidad adsorbente de este material, así como el respectivo estudio cinético y de equilibrio para disponer de información global del proceso de adsorción de este sistema adsorbente-colorante, con miras a una siguiente etapa de escalamiento bajo sistema continuo.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín por el apoyo con toda la infraestructura del Laboratorio de Química Experimental y a la Vicerrectoría de Investigación – Dirección Nacional de Extensión por el financiamiento de un proyecto en la Convocatoria de Apoyo a Proyectos y Actividades de Extensión en la modalidad Innovación y Gestión Tecnológica, GTI.

## Referencias

- Brown, D. (1987), Effects of colorants in the aquatic environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* **13:** 139-147.
- Crini, G. (2006), Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. *Bioresource technology.* **97:** 1061-1085.
- D.C. Montgomery (2005), *Design and analysis of experiments.* 5th edition. John Wiley & Sons. Singapore. 643p.
- Gupta, V. K.; Suhas (2009), Application of low-cost adsorbents for dye removal - a review. *Journal of environmental management.* **90:** 2313-2342.
- Gupta, Vinod K. et al. (2011), Removal of the hazardous dye-Tartrazine by photodegradation on titanium dioxide surface. *Materials Science and Engineering: C.* **31:** 1062-1067.
- Miretzky, P; Cirelli, a F. (2010), Cr(VI) and Cr(III) removal from aqueous solution by raw and modified lignocellulosic materials: a review. *Journal of hazardous materials.* **180:** 1-19.
- Mittal, A., Kurup, L.; Mittal, J. (2007), Freundlich and Langmuir adsorption isotherms and kinetics for the removal of Tartrazine from aqueous solutions using hen feathers. *Journal of hazardous materials.* **146:** 243-248.
- Mittal, A., Mittal, J.; Kurup, L. (2006), Adsorption isotherms, kinetics and column operations for the removal of hazardous dye Tartrazine from aqueous solutions using waste materials - Bottom Ash and De-Oiled Soya, as adsorbents. *Journal of hazardous materials.* **136:** 567-578.
- Nigam, P. et al. (2000), Physical removal of textile dyes from effluents and solid-state fermentation of dye-adsorbed agricultural residues. *Bioresource technology.* **72:** 219-226.
- Norooz, B. et al. (2008), Adsorption of binary mixtures of cationic dyes. *Dyes and Pigments.* **76:** 784-791.
- Rafatullah, M. et al. (2010), Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review. *Journal of hazardous materials.* **177:** 70-80.
- Robinson, T. et al. (2002), Studies on the removal of dyes from a synthetic textile effluent using barley husk in static-batch mode and in a continuous flow, packed-bed, reactor. *Bioresourcetechnology.* **85:** 43-49.
- Ruiz, A.; Garces, L. Fernando; Arroyave, J.; Agudelo, C.; Carlos, M. (2008a), Degradación del colorante tartrazina mediante fotocatálisis heterogénea empleando lámpara de luz ultravioleta. *Producción + Limpia.* **3:** 37-47.

- Ruiz, A.; Garces, L. Fernando; Arroyave, J.; Agudelo, C.; Carlos, M. (2008b), Degradación del colorante tartrazina mediante fotocatálisis homogénea empleando lámpara de luz ultravioleta. *Producción + Limpia*. **3**: 25-35.
- Ruiz, A. (2011), Uso de electrocoagulación para la remoción de tartrazina en soluciones acuosas. *Producción + Limpia*, **6**: 58-68.
- Srinivasan, A.; Viraraghavan, T. (2010), Decolorization of dye wastewaters by biosorbents: a review. *Journal of environmental management*. **91**: 1915-1929.
- Tripathi, P., Srivastava, V.C.; Kumar, A. (2009), Optimization of an azo dye batch adsorption parameters using Box-Behnken design. *Desalination*. **249**: 1273-1279.
- Walsh, G.E., Bahner, L.H.; Horning, W.B. (1980), Toxicity of textile mill effluents to freshwater and estuarine algae, crustaceans and fishes. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*. **21**: 169-179.
- Yeddou, N.; Bensmaili, A. (2005), Kinetic models for the sorption of dye from aqueous solution by clay-wood sawdust mixture. *Desalination*. **185**: 499-508.
- Zheng, L. et al. (2010). Equilibrium and kinetic studies of adsorption of Cd (II) from aqueous solution using modified corn stalk. *Journal of hazardous materials*. **176**: 650-656.