

Uso de biomasa seca de cáscara de naranja para la remoción de colorantes presentes en aguas residuales de la industria textil

Use of dried orange peel biomass for the removal of dyes present in wastewater from the textile industry

Lorena T. Ospina Marín*, Eliana Berrio Mesa**, Verónica T. Avendaño Gómez***, Erasmo Arriola Villaseñor****, Alba N. Ardila Arias*****

* Tecnóloga en Química Industrial y de Laboratorio. Politécnico Colombia Jaime Isaza Cadavid, Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables (CAMER), lorena_ospina64152@elpoli.edu.co. Carrera 48, No. 7-151, Medellín-Colombia.

** Tecnóloga en Química Industrial y de Laboratorio. Politécnico Colombia Jaime Isaza Cadavid, Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables (CAMER), eliana_berrio27121@elpoli.edu.co. Carrera 48, No. 7-151, Medellín-Colombia.

*** Tecnóloga en Química Industrial y de Laboratorio. Politécnico Colombia Jaime Isaza Cadavid, Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables (CAMER), veronica_avendano64152@elpoli.edu.co. Carrera 48, No. 7-151, Medellín-Colombia.

**** Magíster en Ciencias Ingeniería Química. Politécnico Colombia Jaime Isaza Cadavid, Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables (CAMER). *erasmoarriola@elpoli.edu.co. Carrera 48, No. 7-151, Medellín-Colombia.

***** Doctora en Ciencias Ingeniería Química. Politécnico Colombia Jaime Isaza Cadavid, Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables (CAMER). *anardila@elpoli.edu.co. Carrera 48, No. 7-151, Medellín-Colombia.

Resumen

Se evaluó la capacidad de adsorción de biomasa muerta obtenida a partir de cáscaras de naranjas para la remoción de los colorantes amarillo reactivo 145, rojo reactivo 250 y reactivo azul turquesa 21. Los parámetros estudiados (pH, temperatura de adsorción y masa de adsorbente) tienen un efecto estadísticamente significativo en el porcentaje de remoción de los tres colorantes, con un nivel de confianza del 95%. Para los tres colorantes evaluados, su porcentaje de remoción incrementa con la disminución del pH y con el aumento de la cantidad de bioadsorbente, obteniéndose un valor máximo de 68%, 83% y 98% para los colorantes amarillo reactivo 145, rojo reactivo 250 y reactivo azul turquesa 21, respectivamente a un pH = 3.0, 50 mg de bioadsorbente y 25°C. En cuanto a la temperatura de adsorción, el porcentaje de remoción del colorante rojo reactivo 250 incrementó con la disminución de ésta, por el contrario, el porcentaje de remoción para los colorantes amarillo reactivo 145 y reactivo azul turquesa 21, incrementó con el aumento de la temperatura.

Palabras clave: amarillo reactivo 145, rojo reactivo 250 y reactivo azul turquesa 21, cáscara de naranja, bioadsorbente, bioadsorción.

Recibido: 04/11/2018
Revisado: 16/11/2018
Aceptado: 10/12/2018

Correspondencia de autor:
anardila@elpoli.edu.co

© 2018 Universidad La Gran Colombia. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que el autor original y la fuente se acrediten.

Cómo citar:

Ospina, L.T., Berrio, E., Avendaño, V.T., Arriola, E.A., Ardila, A.N. (2018) Uso de biomasa seca de cáscara de naranja para la remoción de colorantes presentes en aguas residuales de la industria textil. *UGCiencia*, 24, 53-63.



Abstract

The adsorption capacity of dead biomass obtained from orange peels was evaluated for the removal of the dyes yellow reactive 145, red reactive 250 and blue turquoise reagent 21. The parameters studied (pH, adsorption temperature and mass of adsorbent) have a statistically significant effect on the removal percentage of the three dyes, with a confidence level of 95%. For the three dyes evaluated, their percentage of removal increases with the decrease of the pH and with the increase of the amount of bioadsorbent, obtaining a maximum value of 68%, 83% and 98% for the dyes yellow reactive 145, reactive red 250 and turquoise blue reagent 21, respectively at pH = 3.0, 50 mg of bioadsorbent and 25 ° C. As for the adsorption temperature, the percentage of removal of red reagent dye 250 increased with the decrease of this, on the contrary, the percentage of removal for reactive yellow dyes 145 and turquoise blue reagent 21, increased with the increase in temperature.

Keywords: yellow reagent 145, reactive red 250 and reagent blue turquoise 21, orange peel, bioadsorbent, bioadsorción.

Introducción

Las actividades comerciales e industriales de la ciudad de Medellín, como las textiles, alimentarias y cosméticas, necesitan de un alto consumo del recurso hídrico para sus procesos de producción; y debido a las descargas de tintes y colorantes, generan aguas residuales con alta cantidad de contaminantes, que son una preocupación y problema ambiental (Canales, 2007); debido a que provocan considerables variaciones en el color, olor, pH, en lo estético, en el grado de penetrabilidad de la luz solar, la fotosíntesis, las actividades biológicas de los organismos acuáticos, la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), el carbono orgánico total (COT), además, de presentar un grado tóxico, carcinogénico y mutagénico que afecta la salud humana (Barrios et al., 2016).

Dentro de los aproximadamente 10.000 colorantes disponibles industrialmente; éstos pueden ser clasificados según, su estructura química o grupo funcional como los azoicos y antraquinonas; su solubilidad en el medio donde se encuentren como en agua y las condiciones de su aplicación como en medio ácido o básico (Barrios et al., 2016). Dentro de esta clasificación, los más utilizados en la industria, especialmente en la textil, son los azoicos que corresponden entre el 50 y 70% de la producción total de colorantes de la ciudad de Medellín (Torres et al., 2017). Éstos, se caracterizan

principalmente por poseer un grupo funcional de la forma R-N=N-R', siendo R compuestos orgánicos cíclicos y N de nitrógeno, en presencia de un enlace doble (Canales 2007). En segundo lugar, se tienen las antraquinonas, caracterizadas por ser compuestos aromáticos, con grupos funcionales de la forma =C=O y =C=C=, siendo C carbono en presencia de dobles enlaces (Torres et al., 2017).

De los colorantes más comunes industrialmente y de mayor obtención, utilización y comercialización, dentro de las industrias de la ciudad de Medellín; están Amarillo reactivo 145, rojo reactivo 250 y reactivo azul turquesa 21. Dichos colorantes sintéticos, tienen en común, que son altamente solubles en agua y que poseen una alta estabilidad química por los grupos aromáticos y debido a la resonancia que presentan dentro de su estructura; lo que hace que sean difícilmente degradados, eliminados o retirados totalmente de las aguas residuales (Valladares et al., 2017).

Para resolver dicho problema, se han desarrollado e implementado tratamientos convencionales y alternativos para la remoción o eliminación de colorantes en las aguas residuales (Yildiz et al., 2005). Esta variedad de tratamientos, abarcan precipitación química, intercambio de iones, electrodiálisis, degradación biológica, oxidación química, extracción con disolventes y bioadsorción (Valadares et al., 2017). De estos tratamientos, el que se ha destacado más como uso alternativo, es

la bioadsorción (Valadares et al., 2017); ya que ha mostrado altas remociones y eficiencias en la eliminación de colorantes comunes altamente estables como el amarillo reactivo 145, rojo reactivo 250 y reactivo azul turquesa 21. Este es un proceso sencillo, de bajo costo, que minimiza la utilización de productos químicos y la generación de lodos biológicos. Además, permite el uso de materiales naturales renovables como absorbentes o biomasa muerta; un ejemplo son los residuos agroindustriales de las cáscaras de los cítricos (Valladares et al., 2017; Yildiz et al., 2005).

Colombia posee aproximadamente 62.000 hectáreas cultivadas con especies cítricas, las cuales, son destinadas para el comercio de frutos en fresco y los productos procesados; siendo uno de los principales cultivos la naranja (Yepes et al., 2008; Hernández, 2014). En Medellín, los residuos que se obtienen de éste cultivo (cáscara, semilla y bagazo), comúnmente se arrojan en las basuras o rellenos sanitarios y en pocos casos, se utilizan como abonos y concentrados para animales (Yepes et al., 2008). El uso de la biomasa muerta, en la adsorción de colorantes presentes en las aguas residuales; obtenido de la cascara de naranja, como un residuo renovable, subproducto diario de las actividades industriales; presenta la ventaja en la ciudad de Medellín, fuera de su alta porosidad, que es una de las características fundamentales de un buen adsorbente (Valladares et al., 2017); fácil disponibilidad y bajo costo; además que contribuye a reducir el problema de la alta cantidad de desechos agroindustriales, ya que reportes dados en noviembre del 2017, Medellín genera aproximadamente entre 1.800 y 2.000 toneladas diarias de basura, según la Secretaría del Medio Ambiente (Ospina, 2017), convirtiéndose dichos desechos en un problema ambiental, social y económico.

El presente artículo, tiene como finalidad, presentar los resultados preliminares obtenidos en el uso de la biomasa muerta obtenida de la cascara de naranja, para la bioadsorción en las aguas residuales, de los colorantes sintéticos de alto uso en la Ciudad de Medellín, comúnmente en la industria textil,

correspondientes al amarillo reactivo 145, rojo reactivo 250 y reactivo azul turquesa 21. De la cual se resalta de dichos estudios que aún están en ejecución, la simulación de las condiciones y características bajo las cuales se trabajan con estos colorantes sintéticos industrialmente.

Metodología

Obtención y caracterización fisicoquímica de la biomasa muerta

Las cáscaras de naranja se recolectaron sistemáticamente de diferentes domicilios y locales gastronómicos, éstas fueron lavadas con agua desionizada y posteriormente se sometieron a un proceso de secado a 80 °C hasta alcanzar un peso constante. Se realizó el proceso de trituración en un molino de cuchillas, el material se pasó por un tamiz de malla 30. Las muestras en polvo obtenidas se almacenaron en seco, previo al análisis experimental.

Para conocer las propiedades fisicoquímicas de la biomasa muerta obtenida de cáscara de naranja, dicho material se caracterizó por diferentes técnicas fisicoquímicas: difracción de rayos X (DRX), para identificar propiedades cristalinas; adsorción-desorción de nitrógeno por el método BET para determinar propiedades texturales, y el punto punto isoelectrico o punto de carga cero (PCZ) usando titulación de masas.

Los difractogramas de las muestras se obtuvieron en un difractómetro Bruker, D-8, con una fuente de radiación $K\alpha$ del Cu con filtro de Ni a 40kV y 40 mA y una longitud de onda igual a 1.54 Å, con una velocidad de barrido de 1.5 grados por minuto. Se obtuvieron patrones de difracción en el intervalo de ángulos 2θ entre 15 y 70 grados a intervalos de 0.02°. Los difractogramas obtenidos se compararon con la base de datos PDF de Internacional Centre of Diffraction Data (ICDD) 2000. Las medidas de área superficial BET y porosidad de los materiales se llevaron a cabo en un equipo Quantachrome Autosorb Automated. Antes de realizar el análisis,

aproximadamente 70 mg de cada muestra se desgasificó durante 11 horas a 150 °C a una presión de vacío de 708.5 mmHg para asegurar que la superficie estuviera limpia, seca y libre de especies débilmente adsorbidas. Las isotermas de adsorción-desorción de N₂ de los materiales se hicieron a 75.2 K.

Ensayos de adsorción

El agua residual proveniente de diferentes procesos industriales donde se utilizan compuestos químicos a gran escala, por ejemplo, en la tinción del algodón de la industria textil se utilizan los colorantes: Rojo 250, Azul turquesa 21 y Amarillo 145, al igual que otros agentes químicos como: soda caustica, sales básicas, etc. Por tal motivo, se simulaban muestras de agua residual provenientes del proceso de tinción de la industria textil (muestras problema). Por cada colorante se añadieron a un balón volumétrico de 1000 mL, 50.0 g de cloruro de sodio, 15.0 g de carbonato de sodio y 1.5 g de hidróxido de sodio al 50% (líquido), y 100 mg de colorante. Posteriormente se realizó un tratamiento térmico. Las muestras de Rojo 250 y Amarillo 145 se sometieron a una temperatura de 60°C por 45 minutos y la muestra de Azul turquesa 21 a 80°C por 45 minutos. Finalmente se enfriaron a temperatura ambiente y se conservaron bajo refrigeración a 4°C.

Las pruebas de adsorción se realizaron en un sistema por lotes mediante un erlenmeyer de 250 mL, con 50 mL de cada muestra problema con 25, 50 y 100 mg de bioadsorbente según fuera el caso. Dicho proceso se llevó a cabo en incubadora con control de agitación y temperatura, marca VWR a 120 rpm durante 24 h a diferentes temperaturas (25 °C, 35°C y 45 °C) así igual que la variación en el valor del pH inicial (3.0, 7.0 y 12.0), la separación del bioadsorbente se realizó mediante filtración por gravedad (15 minutos). Todas las pruebas de adsorción se realizaron por duplicado.

El análisis de los resultados de la cantidad de colorante adsorbido en las muestras problema, se realizó empleando un espectrofotómetro UV-VIS,

marca Genesys 10S a longitudes de onda de 420 nm, 548 nm y 665 nm, correspondiente al Amarillo 145, Rojo 250 y Azul turquesa 21, respectivamente. En cada caso se realizaron las curvas de calibración de los colorantes con soluciones de concentraciones de 0-100 mg/L.

Diseño experimental

Se realizaron diferentes pruebas de adsorción, con el fin de establecer las condiciones óptimas para la adsorción de los diferentes colorantes utilizando biomasa de naranja, para lo cual se aplicó un diseño experimental factorial basado en la incidencia de varios factores (cantidad de adsorbente, pH inicial del medio y temperatura de la adsorción). Los factores con sus correspondientes niveles se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Factores y niveles del diseño experimental.

Factores		Niveles		
		i	J	K
α	Cantidad de adsorbente (mg)	25	50	100
β	pH inicial de la solución (unidades de pH)	3.0	7.0	12.0
γ	Temperatura de adsorción (°C)	25	35	45

Fuente: propia.

En cada caso se realizó un estudio estadístico empleando un modelo factorial simétrico, dicho análisis estadístico se realizó mediante el modelo de varianza ANOVA usando el software StatGraphics 15.1 y la Ecuación 1, lo anterior utilizando como variable de respuesta el % de remoción de cada colorante, con un nivel de significancia del 5% (0.05), y se estableció como hipótesis nula (H0) que las medias del porcentaje de remoción del colorante son iguales frente a los diferentes factores estudiados.

Ec. 1

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk}	Es la medida del porcentaje de remoción del colorante, observado en los respectivos niveles de los tres factores objeto de estudio.
μ	Es el efecto global promedio.
α_i	Es el efecto del i-ésimo nivel del factor cantidad de adsorbente mg
i	25, 50 y 100 mg
β_j	Es el efecto del j-ésimo nivel del factor pH inicial de la solución.
j	3.0, 7.0 y 12.0.
γ_k	Es el efecto del k-ésimo nivel del factor temperatura de adsorción.
k	25, 35 y 45 °C.
$(\alpha\beta)_{ij}$	Es el efecto de la interacción entre los niveles de los factores cantidad de adsorbente y pH inicial de la solución.
$(\beta\gamma)_{jk}$	Es el efecto de la interacción entre los niveles de los factores pH y temperatura.
$(\alpha\gamma)_{ik}$	Es el efecto de la interacción entre los niveles de los factores cantidad de adsorbente y temperatura.
$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$	Es el efecto de la interacción entre los niveles de los factores cantidad de adsorbente, pH inicial de la solución y temperatura.
ε_{ijk}	Es el efecto atribuido al error aleatorio, que en este diseño es representado por la interacción entre los tres factores, que se supone no debe ser significativa y con esto permite la estimación de las varianzas.

Resultados y discusión

Pruebas de adsorción

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos del análisis estadístico ANOVA, en la remoción de los contaminantes Rojo R 250, Azul R 21 y amarillo 141, los datos muestran que los parámetros evaluados influyen de manera significativa en la remoción de cada contaminante, esto con un nivel de confianza del 95%, es decir, un error máximo permisible del 5%, puesto que se obtuvieron valores de $P < 0.05$ para todos factores estudiados, así como para sus respectivas interacciones, por lo tanto, es claro que también la interacción entre cada uno de estos factores influye significativamente en la remoción de cada colorante.

En la Figura 1 se observan el perfil de remoción Colorantes Rojo R 250, Aul R 21 y Amarillo 141 A, B y C respectivamente como función del pH a las diferentes temperaturas de tratamientos, y para las diferentes cantidades de Adsorbente evaluadas.

Los resultados muestran que, para todos los casos de estudio, a pH bajos el porcentaje de remoción es superior en comparación con los valores de pH superiores. Por otra parte, a pesar de que la temperatura de remoción afecta la capacidad de adsorción en forma particular con los distinto parámetros y para los diferentes colorantes, es claro que para el menor valor de pH evaluado (3.0) no existe una diferencia considerable, puesto que, para la mayoría de los estudios, a dicho pH el % de remoción es similar sin que la temperatura influya de forma significativa. Debido a lo anterior, se podría inferir incluso que una temperatura posible de operación para este proceso sería de 25 °C ya que no existe una mejoría sustancial en relación con las otras temperaturas evaluadas, tomando en cuenta el ahorro energético que ello implica.

De forma análoga no es claro que exista una mejoría considerable al aumentar la cantidad de adsorbente puesto que no existe un mejoramiento sustancial en el % de remoción al aumentar de 25 a 100 mg de bioadsorbente, por lo cual, con base en

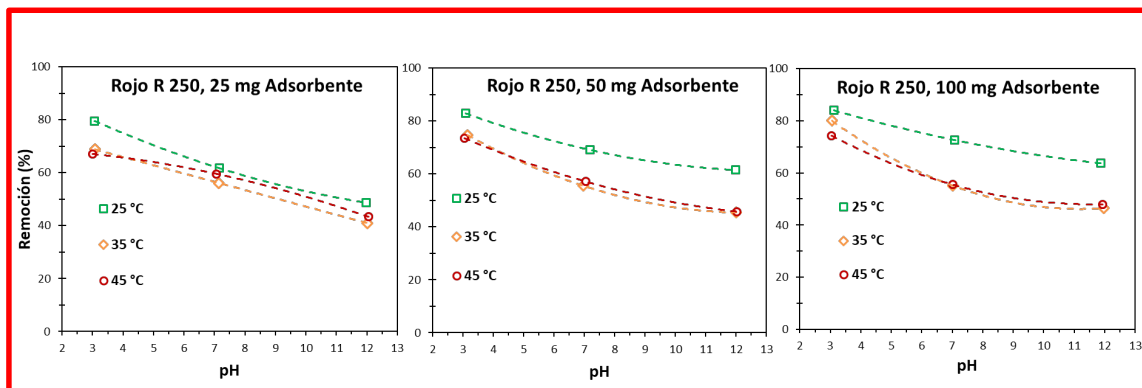
Tabla 2. Resultados ANOVA del diseño experimental para la adsorción de los colorantes

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Relación F	Valor P
Colorante Rojo R 250					
Factor α: Adsorbente (mg)	2	196.148	98.0741	60.18	0.0000
Factor β: pH	2	5630.48	2815.24	1727.53	0.0000
Factor γ: Temperatura ($^{\circ}$C)	2	2062.93	1031.46	632.94	0.0000
$\alpha\beta$	4	96.4074	24.1019	14.79	0.0000
$\alpha\gamma$	4	29.2963	7.32407	4.49	0.0065
$\beta\gamma$	4	729.63	182.407	111.93	0.0000
$\gamma\beta\alpha$	8	366.815	45.8519	28.14	0.0000
Colorante Azul R 21.					
Factor α: Adsorbente (mg)	2	29.3704	14.6852	5.58	0.0093
Factor β: pH	2	50531.4	25265.7	9608.08	0.0000
Factor γ: Temperatura ($^{\circ}$C)	2	3025.15	1512.57	575.2	0.0000
$\alpha\beta$	4	29.4074	7.35185	2.8	0.0460
$\alpha\gamma$	4	34.2963	8.57407	3.26	0.0264
$\beta\gamma$	4	3660.96	915.241	348.05	0.0000
$\gamma\beta\alpha$	8	92.5926	11.5741	4.4	0.0017
Colorante Amarillo 141.					
Factor α: Adsorbente (mg)	2	1449.93	724.963	155.35	0.0000
Factor β: pH	2	2842.26	1421.13	304.53	0.0000
Factor γ: Temperatura ($^{\circ}$C)	2	7950.81	3975.41	851.87	0.0000
$\alpha\beta$	4	2805.41	701.352	150.29	0.0000
$\alpha\gamma$	4	681.185	170.296	36.49	0.0000
$\beta\gamma$	4	5646.52	1411.63	302.49	0.0000
$\gamma\beta\alpha$	8	1294.48	161.81	34.67	0.0000

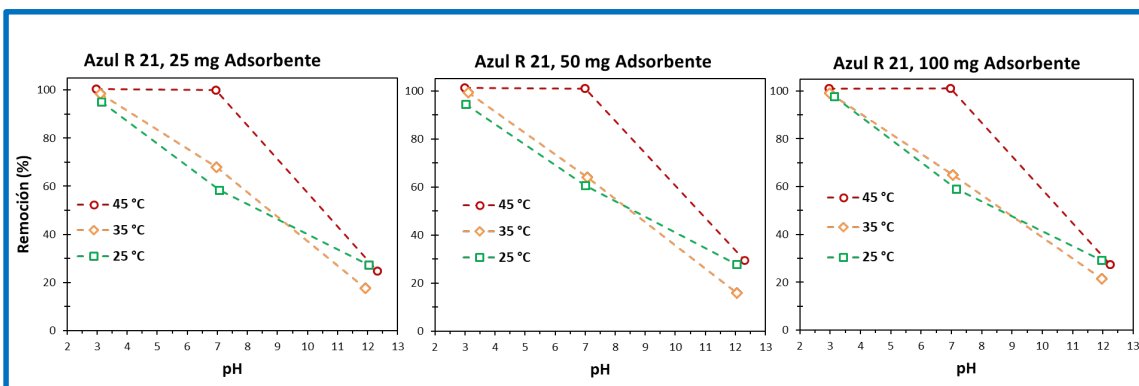
Fuente: propia.

Figura 1. Resultados de remoción de Colorantes Rojo R 250, Azul R 21 y Amarillo 141 A, B y C respectivamente, en función del pH, a diferentes temperaturas y concentraciones de Adsorbente.

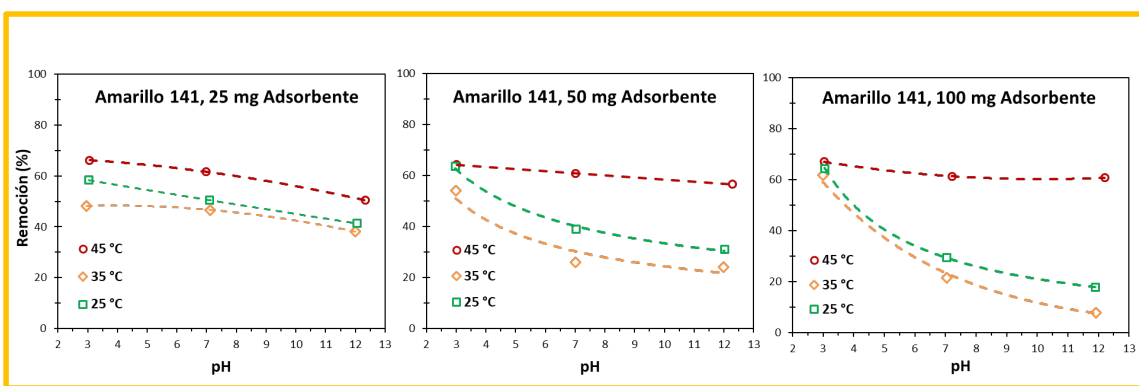
A



B



C



Fuente: propia

los resultados obtenidos a la fecha se deduce que, la carga óptima de bioadsorbente es 25 mg para las condiciones evaluadas en la muestra problema simulada (1000 mL, 50.0 g de cloruro de sodio, 15.0 g de carbonato de sodio y 1.5 g de hidróxido de sodio al 50% (líquido), y 100 mg de colorante).

El efecto del pH de la solución se puede explicar debido que dicho parámetro influye en la carga superficial del adsorbente y de forma similar afecta la carga y la estructura del colorante y a su vez, el grado de ionización de este, así como la especiación de las otras sustancias contaminantes en el medio (Ensuncho, Robles y Carrizo 2015), (Srivastava, Swamy, Mall, Prasad, y Mishra, 2006) contact time, adsorbent dose and initial concentration (C_0), se ha reportado que a pH bajo, la superficie del bioadsorbente se encuentra cargada positivamente, posiblemente por el aporte de las especies H^+ , y

por lo tanto, existe mayor atracción electrostática entre esta superficie y el anión azocolorante, de esta forma, la disminución en el porcentaje de remoción a condiciones básicas, puede ser debido a que bajo estas condiciones es posible que se generen procesos de repulsión entre la superficie del bioadsorbente y el colorante (Ensuncho, et. Al. 2015).

De forma similar, esto también concuerda con reportes de la literatura, donde se conoce que la composición química de materiales provenientes de la biomasa favorecen mecanismos como intercambio iónico, complejaciones, microprecipitación, etc, los cuales pueden ocurrir al mismo tiempo dependiendo de la naturaleza de la solución, donde el medio ácido favorece los fenómenos de adsorción sobre la biomasa (Komy, Abdelraheem, y Ismail, 2013) De esta forma, como se observa en la Figura 1, con el aumento del pH de 3.0 a 12.0, el % de remoción

disminuye de forma significativa hasta en un 30, 80 y 40% para los colorantes Rojo R250, Azul R21 y Amarillo 141 respectivamente.

De acuerdo con la literatura se ha reportado que el equilibrio de adsorción en fase líquida pueden ser afectado por la temperatura, y de forma general se espera que con el aumento de temperatura disminuya la capacidad de adsorción, para aquellos casos donde adsorción del colorante disminuye con el aumento de temperatura se sugiere que implica un proceso exotérmico, donde la adsorción está relacionado con las fuerzas de Van der Waals y dipolo asociadas con los calores (Slimani et al. 2014). Aunque se ha reportado que el incremento en la temperatura favorece el proceso de desorción y de difusión (Taborda et. al. 2016) y adicionalmente se ha reportado que los procesos de adsorción química o quimisorción pueden favorecerse a temperaturas elevadas, de esta forma los resultados obtenidos podrían sugerir la posibilidad de que estén involucrados ambos procesos, dando mayor significancia a uno u otro de acuerdo con el valor del pH de la solución, o en su defecto, que en este estudio las condiciones de temperatura no rigen la velocidad de intercambio como posiblemente podrían hacerlo otros fenómenos como la difusión.

Así, en este estudio se observó, que si bien, el porcentaje de remoción y la capacidad de adsorción puede aumentar, a condiciones de temperatura elevada (según el colorante), a pH de 3.0 esta variación no es significativa con relación a las temperaturas menores, y por el contrario, desarrollar este proceso a temperaturas mayores supone un gasto energético que no justifica los posibles incrementos de remoción del colorante.

Posteriormente se calculó el valor de la capacidad de adsorción (q) para cada experimento a fin de encontrar las mejores condiciones que favorecen dicho valor, este parámetro fue calculado mediante la ecuación de balance de masa del proceso (Ec. 2) (Navarro et. al. 2006).

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

Ec. 2

Donde:

q: capacidad de adsorción (mg/g)

V: volumen de la solución (L)

C_i: concentración inicial del adsorbato (mg/L)

C_f: concentración final del adsorbato (mg/L)

M: masa de adsorbente (g)

Para lo cual se obtuvo, una capacidad de adsorción de hasta 160, 192 y 118 g colorante / g de bioadsorbente para el Rojo R 250, Azul R21 y Amarillo 141 respectivamente, dicho valor fue obtenido con los datos de las pruebas con menor cantidad de adsorbente (25 mg), y de forma general a menor temperatura (25 °C) y pH bajo (3.0) lo que indica que, tomando en cuenta los costos energéticos y cantidad de bioadsorbente, hasta el momento estos son los parámetros óptimos para desarrollar este proceso.

Caracterización de los biomateriales

Los resultados de DRX en la Figura 3 muestran bajo grado de cristalinidad del material con picos a un ángulo (2θ) de 16° asignado al plano (110), 22.1° asignado a un plano cristalográfico (200) de la celulosa I. (Wada M., Okano 2001) y 34° valores indexados en la tarjeta del Comité Conjunto de Estándares de Difracción de Polvo (JCPDS). 00-056-1718.) (Naz et. Al. 2001). Adicionalmente, los resultados de análisis de características superficiales mostraron que este bioadsorbente posee baja área específica (0.751) m²/g similar a los valores reportados en la literatura (Aysun et. Al. 2017; Taghried et. Al. 2016). El valor del punto isoeléctrico del material (Figura 4), es coherente con la propiedad que tiene el mismo de tener mayor capacidad de remoción de colorantes a valores de pH ácidos.

Se observa que los resultados son comparables incluso con biocarbones o carbones activados derivados de otros materiales orgánicos como la cascara de Maíz, donde se han alcanzado capacidades de adsorción alrededor de 220 mg de colorante/gramo de carbón (mg/g) (Ensuncho et. al. 2015), un valor importante, tomando en cuenta que en este estudio no fue necesario realizar un proceso de generación de biocarbón lo cual implica un gasto de energía o reactivos químicos adicionales, por lo tanto, es posible se puede adelantar que este es un material apropiado para la remoción de estos contaminantes en los efluentes acuosos.

Figura 2. Espectro de DRX del bioadsorbente. Fuente: propia.

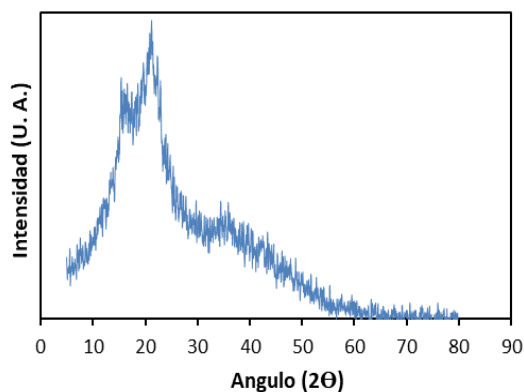
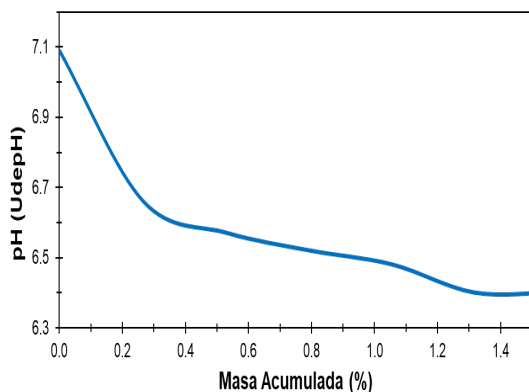


Figura 3. Determinación de punto isoelectrico. Fuente: propia.



Conclusiones

Se encontró que la cáscara de naranja seca en polvo, es altamente efectiva como adsorbente de los colorantes Rojo R250, Azul R21 y amarillo 141 en aguas residuales de la industria textil esto a condiciones suaves sin requerir tratamientos adicionales a los procesos de seado y molienda, lo que se deriva en una alternativa factible y atractiva económicamente para el tratamiento de aguas residuales principalmente aquellas provenientes de la industria textil.

Se determinó que los parámetros más importantes son el pH de la solución y en caso de que se requiera trabajar en otro valor de pH un incremento moderado de la temperatura de adsorción, sin embargo, es necesario realizar un análisis costo beneficio del proceso.

De acuerdo con los resultados obtenidos a la fecha es importante considerar la posibilidad de elaborar filtros para la remoción de estos colorantes en procesos industriales

El punto isoelectrico del biomaterial, su área superficial y la presencia de un gran número de grupos funcionales superficiales en la pared celular de la biomasa, podrían favorecer el proceso de adsorción de los colorantes.

Se plantea continuar con el estudio de la capacidad de remoción de los demás compuestos químicos presentes adicionales a lo colorantes y las alternativas para optimizar el proceso

Un punto que estudiar implica la disposición final de los residuos una vez acabe su ciclo de vida útil, se plantea estudiar la peligrosidad de los materiales presentes en caso de optar por un proceso de incineración esto para aprovechar la energía proveniente del proceso de combustión de la biomasa.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid por la financiación del proyecto de investigación titulado “Aprovechamiento del residuo de cáscara de naranja para la obtención de productos de alto valor agregado”, aprobado en la Convocatoria de Proyectos de Investigación Sede Central y Sedes Regionales del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, 2018 y con centro de costo 2061080358, adscrito al Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Recursos Renovables (CAMER).

Referencias bibliográficas

Aysun Ozkan, Zerrin Günkaya, Ece Yapici, Müfide Banar (2017). Adsorption of Copper from waste printed boards with modified orange peels. *BioResources* 12 (4), 7283-7300. 2017.

Barrios L.F, Gaviria L.F, Agudelo E.A, Cardona S.A. (2016). Estudio de la toxicidad asociada al vertimiento de aguas residuales con presencia de colorantes y pigmentos en el área Metropolitana del Valle de Aburrá. Universidad EIA, Envigado (Colombia). Vol. 13 Ed.26 Julio - Diciembre 2016. pp. 61-74.

Canales I. (2007). Valorización de biocarbones obtenidos mediante pirólisis de residuos orgánicos. Universidad Politécnica de Cartagena. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica.

Ensuncho Adolfo E., Robles Juana R., Carriazo José G. (2015), Adsorción del colorante amarillo anaranjado en solución acuosa utilizando carbones activados obtenidos a partir de desechos agrícolas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 81 (2). 135-147. Junio 2015.

Hernández Arredondo J.D. (2014). Crecimiento y producción de naranja cv. Valencia Citrus sinensis (L.) Osbeck, como respuesta a la aplicación de correctivos y fertilizante. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia.

Medellín 2014.

Komy, Z. R., Abdelraheem, W. H., y Ismail, N. M. (2013). Biosorption of Cu^{2+} by *Eichhornia crassipes*: Physicochemical characterization, biosorption modeling and mechanism. *Journal of King Saud University-Science*, 25, 47–56.

Navarro, A., Ramos, K. P., Campos, K., y Maldonado, H. J. (2006). Elucidación del efecto del pH en la adsorción de metales pesados mediante biopolímeros naturales: cationes divalentes y superficies activas. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7, 113–126.

Naz Sania, Naveed Ahmad, Javeed Akhtar, Nasir Mehmood Ahmad, Attarad Ali, Muhammad Zia (2016). Management of Citrus Waste by switching in the production of nanocellulose. *IET Nanobiotechnol, The Institution of Engineering and Technology*. pp 1-5. 2016.

Ospina Zapata G. (2017). Medellín busca recuperar el 25 % de los residuos sólidos. *Periódico el Colombiano*. 10 de noviembre del 2017.

Slimani R. et al. (2014), “Calcined eggshells as a new biosorbent to remove basic dye from aqueous solutions: Thermodynamics, kinetics, isotherms and error analysis,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 45, no. 4, pp. 1578–1587, Jul. 2014.

Srivastava, V. C., Swamy, M. M., Mall, I. D., Prasad, B., y Mishra, I. M. (2006). Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 272, 89–104.

Taborda Acevedo, E. A., Jurado, W., y Cortés, F. B. (2016). Effect of the temperature in adsorption phenomena of water onto Sub-Bituminous coal. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 57–64.

Taghried A. Salman, Mayasa I. Ali (2016). Potential

application of natural and modified orange peel as an eco-friendly adsorbent for methylene blue dye. *Iraqi Journal of Science*. 57 (1A). pp 1-13. 2016.

Torres J.A. Carriazo J.G. (2017). Degradación fotocatalítica del colorante amarillo reactivo 145 empleando estructuras de Fe(III)-TiO₂ sintetizadas del mineral ilmenita. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. Vol. 13- 2017, 42- 49.

Valladares M.G, Cárdenas C.V, Burelo P.C, Melgoza R. (2017). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 16, No. 31 pp. 55-73.

Wada M., Okano, T. (2001). Localization of I α and I β phases in algal cellulose revealed by acid treatments. *Cellulose*. 8, 183–188, 2001,

Yepes S.M, Montoya L.Y, Orozco F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales – frutas – en Medellín y el sur del Valle de aburrá, Colombia. *Revista. Facultad Nacional de Agronomía. Medellín* vol.61 no.1 Medellín. Enero – junio. 2008.

Yildiz N, Gonulsena R, Koyuncu Calimi A. (2005). Adsorption of benzoic acid and hydroquinone by organically modified bentonites. *Colloids Surf A*, 260, 87-94, June 2005.