

Cáscara de Piña como Adsorbente de Colorantes Típicos de la Industria Textil

Pinneapple peel as adsorbent of typical textile industry dyes

Carolina Ardila Ramírez ^a
Ángela María Palacio Londoño ^a
Rolando Barrera Zapata ^{b*}

Fecha de Recepción: 1 - feb. - 2018.

Fecha de Aceptación: 10 - abr. - 2018.

Resumen

Se evaluó la adsorción de una mezcla de colorantes utilizados en la industria textil sobre cáscaras de piña cultivadas en regiones del Chocó y Urabá Antioqueño. El proceso se realizó para diferentes condiciones de pH, tamaño de partícula del adsorbente y tiempo de contacto entre los adsorbentes y la mezcla contaminante. Otros parámetros de operación como la concentración de contaminantes (50 ppm) y cantidad de adsorbente (150 mg) se fijaron de acuerdo a pesquisas en la literatura. Se encontró que para pH de 2.1, diámetro promedio de partícula de adsorbente de 0.6 mm y 8 horas de operación se logran porcentajes de recuperación del 59.2 ± 1.9 de los colorantes con las cáscaras de piña del Urabá y del 51.7 ± 2.1 con las cáscaras de piña del Chocó, mientras que bajo las mismas condiciones, la recuperación con carbón activado es del 34.1 ± 2.1 , similar al que se logra recuperando las cáscaras de piña y reutilizándolas dos veces en el proceso. De acuerdo a los resultados, se concluye que el uso o implementación de cáscaras de piña como adsorbente de colorantes puede representar grandes beneficios económicos y ambientales tanto para el sector agroindustrial como para la industria textil.

Palabras clave: Cáscaras de piña, desechos agroindustriales, procesos de adsorción, remoción de colorantes.

a Ingeniera química, Facultad de ingeniería, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52-21, Medellín Colombia.

b Doctor en ingeniería, Grupo CERES Agroindustria e ingeniería, Facultad de ingeniería, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52-21, Medellín Colombia.

* rolando.barrera@udea.edu.co

Abstract

In this study, the adsorption of a mixture of dyes used in the textile industry on pineapple peels grown in Chocó and Urabá Antioqueño regions was evaluated. The adsorption processes were carried out for different pH conditions, particle size of the adsorbent and contact time between the adsorbents and the contaminant mixture, while other parameters such as the concentration of contaminants (50 ppm), and the amount of adsorbent (150 mg) were fixed according to the literature. It was found that using a pH of 2.1, average particle diameter of adsorbent of 0.6 mm and 8 h of operation, recovery percentages of 59.2 ± 1.9 of dyes with peels from Urabá pineapples and 51.7 ± 2.1 with peels from Chocó pineapples are achieved. Using the same conditions and activated charcoal as adsorbent, the contaminants recovery was 34.1 ± 2.1 , which is similar to that achieved when the pineapple peels are recovered and reused two times in the process. According to the results, it is concluded that the use or implementation of pineapple peels as a dye adsorbent represents potential economic and environmental benefits for the agroindustrial sector and the textile industry

Keywords: Pineapple peels, agroindustrial waste, adsorption processes, removal of dyes.

1. INTRODUCCIÓN

Los colorantes sintéticos se utilizan en múltiples industrias, particularmente en textiles, papel, caucho, plásticos, cuero, cosméticos, fármacos y alimentos, entre otros. El uso de estas sustancias es casi imprescindible para garantizar la estética, comercialización o uso de diferentes productos, pero a su vez presenta la desventaja que muchos tintes utilizados resultan nocivos para la salud humana o perjudiciales para el medio ambiente [1].

En Colombia, el sector textil tiene marcada relevancia en la economía nacional, con participaciones en el PIB que llegan a superar el 9 % de la industria manufacturera [2]. Dentro de las actividades de éste sector se incluye el teñido o pigmentado de fibras y telas, proceso que requiere elevadas cantidades de agua y que a su vez conlleva a elevados volúmenes de vertimientos [3]. Cuando las aguas contaminadas con cantidades significativas de colorantes llegan a efluentes naturales, generan serios problemas a estos ecosistemas [1]. No obstante, gracias a las normativas vigentes y a la responsabilidad ambiental de las empresas, son cada vez más las acciones y medidas que se toman para evitar el vertimiento de estos contaminantes. Sin embargo, la eliminación o remoción de tintes de efluentes acuosos no dispone en la actualidad de un tratamiento o proceso único debido a la naturaleza compleja de este tipo de sustancias [4]. Entre los procesos de tratamiento comúnmente utilizados se destacan la degradación foto-catalítica, degradación sono-química, ultrafiltración micelar, uso

de membranas de intercambio catiónico, degradación electroquímica, procesos de adsorción y precipitación y degradación química y biológica, entre otros [5], [6].

En general, la adsorción de colorantes de la industria textil sobre soportes sólidos como el carbón activado resulta eficiente gracias a la relativa simplicidad del sistema y a propiedades del carbón activado, como elevada área superficial, estabilidad química y alta capacidad de adsorción [7]. Sin embargo, el proceso de activación para producir carbón activado suele requerir el uso de especies químicas contaminantes o altos consumos energéticos, detalles que le desfavorecen desde el punto de vista económico y ambiental. Este hecho ha motivado la búsqueda de otros materiales adsorbentes que requieran menos etapas o reactivos en su preparación [1]. Entre ellos, el uso potencial de residuos agroindustriales para tal fin, ha ganado significativa atención, debido no solo a su bajo costo y alta disponibilidad, sino también al creciente interés por el aprovechamiento integral y valoración de residuos agroindustriales bajo el concepto de biorefinerías [8].

Varios adsorbentes derivados de biomasa lignocelulósica, tales como maíz [9], cáscara de arroz [10], hojas de té [11], cáscara de coco [12], cañas de bambú [13] y desechos de yute [14], entre otros, se han estudiado para la remoción de contaminantes en aguas residuales. El uso de la piña (pulpa, cáscara, tallo y hojas) como material adsorbente no ha sido la excepción. Weng, et al. [15], estudiaron la adsorción de azul de metileno en polvo de hojas de piña, encontrando que el

proceso se ve favorecido a temperatura ambiente, pH de 7.5 y para una concentración de colorante de 0.5 g/L. Zhang, et al. [16] utilizaron corteza de piña para retirar azul turquesa G – 133 de medios acuosos. Encontraron que para tamaños de partícula del adsorbente entre 177 – 125 μm , velocidad de agitación de 190 rpm y tiempo de contacto de 6 h se obtienen los mejores resultados. Otros autores [17], [18] reportan que para el proceso de adsorción de rojo congo “RC” y azul básico “BB3” usando el tallo de la planta de piña, la máxima adsorción es de 11.9 mgxg^{-1} y 58.985 mgxg^{-1} respectivamente, en 5 h, velocidad de agitación de 150 rpm y pH entre 4 y 6. Mahamad, et al. [19] reportan que en 4 h, agitación de 100 rpm y diferentes tamaños de partícula, logran la máxima adsorción del colorante azul de metileno sobre biomasa de piña (hojas, tallo y corona). Por su parte, Chowdhury, et al. [20] demuestran en sus hallazgos las propiedades bioadsorbentes de la corteza y hojas de la piña, señalando que es de bajo costo y efectiva en la eliminación del colorante verde básico “BG4” en solución acuosa.

Adicionalmente, se ha reportado que el biocarbon obtenido a partir de gasificación de residuos de la piña, ha exhibido capacidades de adsorción comparables o incluso mejor a la capacidad de adsorción de carbón activado comercial sobre diversos contaminantes orgánicos, inorgánicos y metálicos [21].

De acuerdo al análisis de la literatura consultada, se puede evidenciar que diferentes materiales lignocelulósicos, particularmente los residuos del cultivo de piña, pueden ser potencialmente utilizados para la remoción de contaminantes colorantes en medio acuoso, sin embargo, condiciones del proceso como pH, tiempo de contacto, concentración de contaminante, entre otros, pueden incidir significativamente en los resultados debido a la naturaleza de los diferentes tintes. Por lo tanto, se hace necesario verificar experimentalmente si un adsorbente específico (como por ejemplo las cáscaras de la piña) resultan o no efectivas (y bajo qué condiciones) para remover contaminantes particulares, como por ejemplo los provenientes de la industria textil.

En el contexto nacional, es importante resaltar que la piña ocupa el segundo lugar en producción de frutas (después de los cítricos) con un

promedio anual de 400.000 toneladas, concentrado principalmente en los departamentos de Santander, Valle del Cauca, Cauca y Risaralda [22]. Debido a la gran producción que se tiene de esta fruta en el país, efectos socio-políticos, demográficos y geográficos, entre otros, influyen en que la producción de piña en algunas regiones específicas como el Chocó y el Urabá antioqueño no alcance estándares para ser tipo exportación, y aquellos frutos que no se logran comercializar en los mercados locales terminan transformados en residuos. Específicamente para la región del Chocó, se han registrado desperdicios de piña de más de 4000 ton/año, que representan cerca del 50% de la producción de piña en esa región [23], lo cual no sólo representa un serio problema ambiental sino también, pérdidas económicas para los pequeños productores.

En esta investigación se evalúa el uso de cáscaras de piña (*Ananás comosus*) cultivada en regiones del Chocó y del Urabá antioqueño, como adsorbente de colorantes típicos de la industria textil, particularmente de una mezcla compuesta por rojo sólido “2BS”, azul turquesa y verde “G”, que corresponde a una mezcla de uso común en industrias textiles del Valle de Aburrá. En la literatura consultada no se encontraron reportes del uso de estos bioadsorbentes para remover mezclas de colorantes como la utilizada en esta investigación.

2. METODOLOGÍA

2.1 Experimental

Para las pruebas se utilizaron como adsorbentes cáscaras de piña de variedades provenientes del Chocó y del Urabá Antioqueño (compradas en mercados locales). La metodología experimental relacionada con la preparación de las cáscaras y las pruebas de adsorción se adaptó de las diferentes fuentes bibliográficas consultadas [5], [6], [7], [15], [18]. Las cáscaras se retiraron directamente del fruto maduro, se lavaron con agua caliente y se secaron en un horno de convección a 90°C durante 2.5 horas. Luego se trituraron con mortero y se tamizaron en un equipo Anayco Metrología PS-35 286. Las mezclas de contaminantes se prepararon utilizando igual proporción (en peso) de colorante verde, azul y rojo, suministrados por una empresa textil de la ciudad de Medellín.

En cada experimento, 100 ml de solución con 50 ppm de la mezcla de colorantes se llevaron a un beaker de 250 ml, donde se adicionó el adsorbente (150 mg) de un tamaño de partícula seleccionado (entre 0.6 y 4.0 mm) y se mantuvo a temperatura ambiente (alrededor de 25°C) con un valor de pH seleccionado (entre 2.1 y 7.0) y bajo agitación (150 rpm) en un Shaker VWR 3500I hasta finalizado el experimento (entre 1 y 24 h). Una vez finalizado el experimento se tomó una muestra de la solución y se analizó en un espectrofotómetro Thermo Fisher Scientific G10S-208100 equipado con lámpara flash de xenón y celdas de cuarzo. La cuantificación se realizó con ayuda de curvas de calibración elaboradas a la longitud de onda (620 nm) donde se registró la mayor absorbancia de la mezcla. La remoción de la mezcla contaminante (% Remoción) se determinó a partir de la Ec. (1) y la capacidad de adsorción (q_e) mediante la Ec. (2) [24].

$$\%Remoción = \left(\frac{C_i - C_e}{C_i} \right) * 100 \quad (1)$$

$$q = \frac{(C_i - C_e) * V}{W} \quad (2)$$

Donde: C_i : concentración inicial contaminante [ppm], C_e : concentración final contaminante [ppm], V : volumen de solución [L], W : masa de adsorbente [g], q : cantidad de colorante adsorbido por cantidad de adsorbente utilizado [$\text{mg}_{\text{adsorbato}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$].

2.2 Evaluación del efecto del pH

Para evaluar el efecto del pH de la solución, se utilizaron 150 mg de adsorbente (diámetro promedio 2 mm) en 100 ml de solución de colorantes (50 ppm) durante 3 h. Se realizaron experimentos para pH de 2.1, 4.6 y 7.0, ajustándolo con una solución de HCl 0.1M y medido con ayuda de un pH-metro digital Hanna Instruments HI2221. Para los siguientes experimentos se fijó el valor del pH que mostró el mayor % Remoción.

2.3 Evaluación del efecto del tamaño de partícula.

Para el tamaño de partícula se evaluaron adsorbentes con tamaño de malla 4 (≈ 4.8 mm), malla 10 (2.0 mm) y malla 30 (≈ 0.6 m) (ASTM),

utilizando 150 mg de adsorbente, 100 ml de solución de contaminantes (50 ppm), durante 3 horas y al pH que mostró el mayor % Remoción según los experimentos previos.

2.4 Efecto del tiempo de operación.

Se utilizaron 150 mg de adsorbente, 100 ml de solución de contaminantes (50 ppm), el pH y el tamaño de partícula que mostraron mayor % Remoción de acuerdo a los experimentos anteriores. Se tomaron muestras (independientes) a diferentes tiempos (1, 3, 5, 8, 16 y 24 horas).

2.5 Réplicas y reutilización de los adsorbentes.

Utilizando las mejores condiciones de operación de acuerdo a los experimentos anteriores, se realizaron 5 réplicas del experimento para tener una mejor representación estadística (reproducibilidad) de los resultados e indicios sobre la incertidumbre en las mediciones. El material (las cáscaras de piña) se recuperó por filtración y se lavó con agua y solventes orgánicos para tratar de retirar la mayor cantidad de tintes de su estructura. Por recomendación de la empresa que facilitó los tintes, el solvente utilizado fue acetona. Posteriormente el material recuperado se secó nuevamente y se repitió la experimentación utilizando las cáscaras lavadas como adsorbente en una nueva solución de contaminantes. Adicionalmente, para efectos de comparación, se desarrolló el experimento (bajo las mismas condiciones de operación) utilizando como adsorbente carbón activado comercial (suministrado por una empresa textil de Medellín) en lugar de las cáscaras de piña.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Curva de calibración

La Figura 1 muestra la correlación lineal utilizada en la curva de calibración. De acuerdo al coeficiente de determinación (R^2) se puede asumir confiabilidad en las mediciones para rangos de concentración del contaminante entre 10 y 80 ppm.

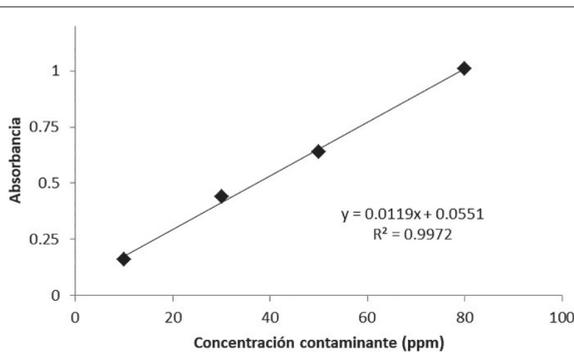


Figura 1. Curva de calibración para la mezcla de contaminantes.

3.2 Efecto de pH

En la Figura 2 se observa que el %Remoción de contaminantes se favorece al pH de 2.1, posiblemente debido a la naturaleza de la mezcla de contaminantes que se clasifican como ácidos.

La dispersión de datos para cada valor de pH se debe al uso de diferentes variedades de cáscara de piña, en este caso, los mayores %Remoción se consiguieron con cáscaras de piñas provenientes del Urabá antioqueño. De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 2, para los siguientes experimentos se fijó el pH en 2.1.

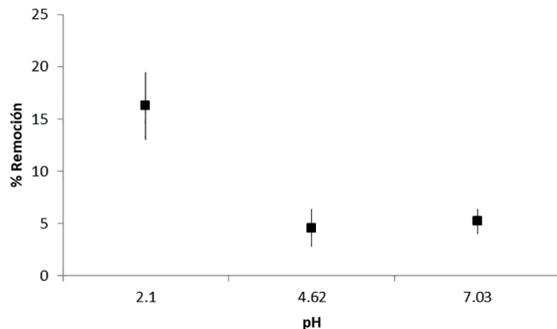


Figura 2. Efecto del pH de la solución evaluado bajo las siguientes condiciones: 100 ml de solución, 50 ppm de contaminantes, 150 mg de adsorbente (tamaño de partícula \approx 0.6 mm), 8 h, 150 rpm, \approx 25°C.

3.3 Efecto del tamaño de partícula del adsorbente

En la Figura 3 se observa que el mayor %Remoción se favorece al disminuir el tamaño de partícula, lo cual se explica por el aumento en el área superficial del adsorbente ya que en todos los experimentos se usó la misma cantidad de cáscaras (150 mg). Para el tamaño de partícula mayor (\approx 5 mm) no se observaron diferencias significativas para los dos tipos de cáscara de piña evaluadas, mientras que para los tamaños de partícula menores, se mantuvo la tendencia a un mayor %Remoción con las cáscaras de piña del Urabá antioqueño.

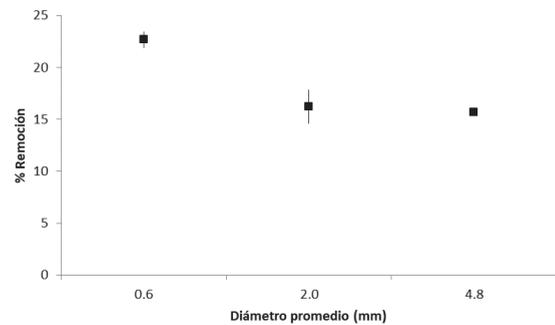


Figura 3. Efecto del tamaño de partícula evaluado bajo las siguientes condiciones: 100 ml de solución, 50 ppm de contaminantes, 150 mg de adsorbente, pH = 2.1, 8h, 150 rpm, \approx 25°C.

3.4 Efecto del tiempo de contacto

Los resultados del %Remoción para diferentes tiempos de contacto se presentan en la Figura 4. Se observa que para las condiciones utilizadas, el %Remoción incrementa con el tiempo durante las primeras 8 horas y a partir de allí no muestra variaciones significativas. La misma tendencia se observa para los dos tipos de cáscara utilizados, aunque para tiempos \geq 16 h el mayor %Remoción se obtuvo con las cáscaras de piña de la región del Chocó, mientras que para tiempos $<$ 16 h, la tendencia fue levemente superior con las cáscaras de piña del Urabá.

De acuerdo a los resultados, puede inferirse que para las condiciones utilizadas se da una aparente saturación del material adsorbente en 8 h de contacto.

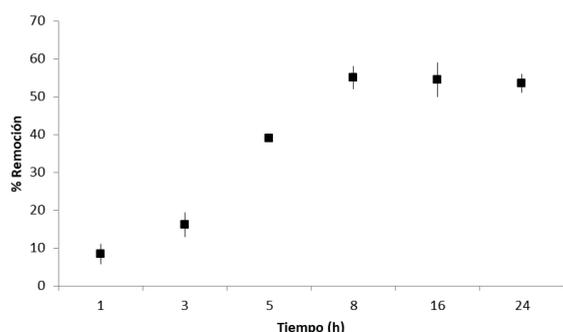


Figura 4. Efecto del tiempo de contacto evaluado bajo las siguientes condiciones: 100 ml de solución, 50 ppm de contaminantes, 150 mg de adsorbente (tamaño de partícula ≈ 0.6 mm), pH = 2.1, 150 rpm, $\approx 25^\circ\text{C}$.

3.5 Reproducibilidad de los resultados y reutilización del material adsorbente

En la Tabla 1 se resumen las condiciones de operación utilizadas en esta investigación y con las cuales se logró el mayor %Remoción de contaminantes del medio acuoso utilizando cáscaras de piña como adsorbente.

Tabla 1. Condiciones de operación

Parámetro	Valor
Volumen de solución	100 ml
Concentración contaminantes	50 ppm
Cantidad de adsorbente	150 mg
Tamaño de partícula de adsorbente	0.6 mm
pH	2.1
Tiempo de contacto	8 h
Agitación	150 rpm
Temperatura	Ambiente ($\approx 25^\circ\text{C}$)

Para las condiciones descritas en la Tabla 1 se realizaron 5 réplicas con cada uno de los adsorbentes, determinando el %Remoción promedio y la capacidad de adsorción (Ec. (2)). Para efectos de comparación, se realizaron experimentos similares utilizando carbón activado (tamaño de partícula ≈ 0.18 mm). Los resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación entre %Remoción promedio de las cáscaras de piña y carbón activado*

Adsorbente	%Recuperación (promedio)	q (mg adsorbato/g adsorbente)
Cáscara de piña del Urabá	59.2 \pm 1.9	21.12

Cáscara de piña del Chocó	51.7 \pm 2.1	17.64
Carbón activado comercial	34.1 \pm 2.1	8.65

*Evaluado bajo las siguientes condiciones: 100 ml de solución, 50 ppm de contaminantes, 150 mg de adsorbente (tamaño de partícula ≈ 0.6 mm), pH = 2.1, 8h, 150 rpm, $\approx 25^\circ\text{C}$.

De la Tabla 2 se observa que para las condiciones de operación descritas en la Tabla 1, tanto las cáscaras de piña del Urabá antioqueño como las de la región del Chocó resultan efectivas para remover contaminantes colorantes provenientes de la industria textil en matrices acuosas, con una capacidad de adsorción cercana a los 20 mg de contaminante por cada gramo de adsorbente. Si bien el %Remoción es sutilmente superior con el material proveniente del Urabá Antioqueño, en general los resultados son del mismo orden de magnitud. En cualquier caso, el uso de las cáscaras de piña resulta mucho más efectivo (a las condiciones estudiadas) que el carbón activado, ya que con estas se remueve casi el doble de contaminantes que con el material comercial. La magnitud en la variabilidad de los resultados para cada experimento (desviación estándar) es $\approx 2\%$, indicando que los resultados son reproducibles y los protocolos experimentales confiables para las mediciones realizadas.

Al llevar a cabo los experimentos con material reutilizado en el proceso se observó una disminución en el %Remoción cercana al 25% con relación al %Remoción con material fresco, y en una segunda reutilización una disminución cercana al 10% con relación al material reutilizado una vez, Figura 5. Estos resultados indican que aparentemente el proceso de lavado no fue completamente efectivo para que el material recuperara su capacidad de adsorción o bien que el material puede sufrir daños irreversibles en su estructura durante el proceso y por ello disminuye el %Remoción con cada reutilización. En cualquier caso, es importante resaltar que incluso después de la segunda reutilización, el %Remoción es comparable al registrado para el proceso con carbón activado como adsorbente (ver Tabla 2). Otro aspecto interesante que se observó durante el proceso de lavado es que el uso de solventes orgánicos (acetona) remueve y permite recuperar los colorantes. En futuros estudios se evaluará la calidad y utilidad de los tintes recuperados.

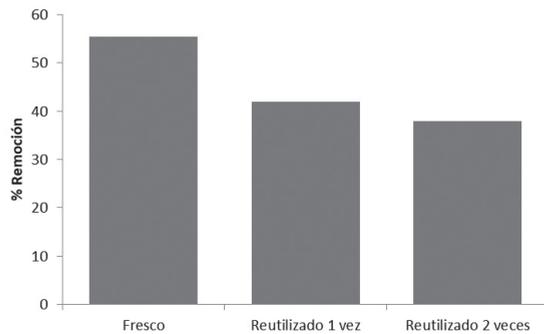


Figura 5. Porcentaje de remoción para las cáscaras de piña con y sin reutilización evaluado bajo las siguientes condiciones: 100 ml de solución, 50 ppm de contaminantes, 150 mg de adsorbente (tamaño de partícula ≈ 0.6 mm), pH = 2.1, 8h, 150 rpm, $\approx 25^\circ\text{C}$

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el proceso de adsorción de contaminantes colorantes propios de la industria textil sobre cáscaras de piña del Urabá antioqueño y del Chocó, revelaron según el protocolo desarrollado para el proceso, un porcentaje de remoción del contaminante colorante cercana al 60%, siendo levemente más efectivo para el proceso las cáscaras de piña del Urabá antioqueño. Se observó que disminuyendo el pH de la solución y el tamaño de partícula del adsorbente se logran mejores resultados y que aunque el material pierde la capacidad de adsorción al ser reutilizado, incluso luego de dos reutilizaciones resulta tan efectivo como el adsorbente comercial de carbón activado.

Se concluye entonces que el uso de la cáscara de piña como adsorbente para aliviar la carga contaminante de efluentes acuosos de la industria textil es una opción viable, no solo por los resultados superiores a los obtenidos con carbón activado comercial (el cual requiere agentes químicos y/o altas temperaturas durante su proceso de activación), sino también porque el adsorbente corresponde un sub-producto que se genera en relativo alto volumen en diversas zonas del país y su aplicación como adsorbente no compite con los fines alimentarios del fruto. Por lo anterior, su uso o implementación supone beneficios económicos y ambientales tanto para el sector agroindustrial como para la industria textil.

REFERENCIAS

- [1] C. V. Chaparro, R. Cabanzo, y E. Mejía, “Estudio de la adsorción de azul de metileno sobre óxido de grafeno”, *Revista Colombiana de Materiales*, vol. 5, pp. 131 – 139, 2014.
- [2] Superintendencia de Sociedades, “Desempeño del sector Textil-Confección 2012-2014”, 2015. [En línea] Disponible en: <https://www.supersociedades.gov.co/Historial%20de%20Noticias/2015/Septiembre/EE1-%20Sector%20Textil-%202015%20VIII%2014.pdf>
- [3] E. M. Patarroyo, “Procesos de estabilización de residuos generados en la industria textil en Colombia mediante lodos activados”, 2013. [En línea] Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/10862>
- [4] H. D. Mansilla, C. Lizama, A. Gutarra, y J. Rodríguez, “Tratamiento de Residuos Líquidos de la Industria de Celulosa y Textil”, 2015. [En línea] Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=2982>
- [5] E. Forgacs, T. Cserhádi, and G. Oros, “Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review”, *Environ. Int.*, vol. 30, n.º 7, pp. 953 – 971, 2004.
- [6] E. Gil, L. Quintero, M. Rincón, y D. Rivera, “Degradación de colorantes de aguas residuales empleando UV/TiO₂/H₂O₂/Fe²⁺”, *Revista Universidad EAFIT*, vol. 43, n.º 146, pp. 80 – 101, 2007.
- [7] M. Rafatullah, O. Sulaiman, R. Hashim, and A. Ahmad, “Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review”, *J Hazard Mater*, vol. 177, n.º 1-3, pp. 70 – 80, 2010.
- [8] J. Pérez, R. Barrera, and G. Ramírez, “Integración de plantaciones forestales comerciales Colombianas en conceptos de biorrefinería termoquímica: una revisión”, *Colombia Forestal*, Vol. 18, pp. 273-294, 2015.

- [9] N. Abdel-Ghani, G. El-Chaghaby, and E. Zahran, “Pentachlorophenol (PCP) adsorption from aqueous solution by activated carbons prepared from corn wastes”, *IJEST*, vol. 12, n.º 1, pp. 211 – 222, 2015.
- [10] L. Ding, B. Zou, W. Gao, and Y. Liu, “Adsorption of Rhodamine-B from aqueous solution using treated rice husk-based activated carbon”, *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp.*, Vol. 446, pp. 1 – 7, 2014.
- [11] E. Akar, A. Altinişik, and Y. Seki, “Using of activated carbon produced from spent tea leaves for the removal of malachite green from aqueous solution”, *Ecol Eng*, Vol. 52, pp. 19 – 27, 2013.
- [12] A. L. Cazetta, O. P. Junior, A. M. Vargas, A. P. da Silva, X. Zou, T. Asefa, and V. C. Almeida, “Thermal regeneration study of high surface area activated carbon obtained from coconut shell: Characterization and application of response surface methodology”, *J Anal Appl Pyrolysis*, Vol. 101, pp. 53 – 60, 2013.
- [13] L. Wang, “Application of activated carbon derived from ‘waste’ bamboo culms for the adsorption of azo disperse dye: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies”, *J Environ Manage*, Vol. 102, pp. 79 – 87, 2012.
- [14] S. Banerjee, and M. Dastidar, “Use of jute processing wastes for treatment of wastewater contaminated with dye and other organics”, *Bioresour Technol*, vol. 96, n.º 17, pp. 1919 – 1928, 2005.
- [15] C. Weng, Y. Lin, and T. Tzeng, “Removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto pineapple leaf powder”, *J Hazard Mater*, vol. 170, n.º 1, pp. 417 – 424, 2009.
- [16] X. Zhang, J. Tan, X. Wei, and L. Wang, “Removal of Remazol turquoise Blue G-133 from aqueous solution using modified waste newspaper fiber”, *Carbohydr Polym*, vol. 92, n.º 2, p. 1497 – 1502, 2013.
- [17] T. Xiaofei, L. Yunguo, Z. Guangming, W. Xin, H. Xinjiang, G. Yanling, and Y. Zhongzhu, “Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions”, *Chemosphere*, Vol. 125, pp. 70 – 85, 2015.
- [18] S. Chan, Y. Tan, A. Abdullah, and S. Ong, “Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of a new potential biosorbent for the removal of Basic Blue 3 and Congo Red dyes: Pineapple (*Ananas comosus*) plant stem”, *J Taiwan Inst Chem Eng*, Vol.61, pp. 306 – 315, 2016.
- [19] M. Mahamad, M. Zaini, and Z. Zakaria, “Preparation and characterization of activated carbon from pineapple waste biomass for dye removal”, *Int Biodeterior Biodegradation*, Vol. 102, pp. 274 – 280, 2015.
- [20] S. Chowdhury, S. Chakraborty, and P. Saha, “Biosorption of Basic Green 4 from aqueous solution by *Ananas comosus* (pineapple) leaf powder”, *Colloids Surf B Biointerfaces*, Vol. 84, n.º 2, pp. 520 – 527, 2011.
- [21] N. Karakoyun, S. Kubilay, N. Aktas, and N. Sahiner, “Hydrogel–Biochar composites for effective organic contaminant removal from aqueous media”, *Desalination*, Vol. 280, N.º 1, pp. 319 – 325, 2011.
- [22] J. G. Alzate, “Manejo y Producción del cultivo de piña oro miel la Hacienda Guacas, Cerritos – Risaralda”. 2014. [En línea] disponible en: <http://www.catalogodig.cotecnova.edu.co/verinfo.php?idtrabajo=42>
- [23] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, *Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas 2007-2011*, Bogotá: J.L Impresores, 2012.
- [24] D. A. Skoog, S. R. Crouch, and F. J. Holler, *Principios de análisis instrumental*. 6 ed. Madrid: Cengage Learning. 2008.