



## Uso de cáscara de piña como adsorbente de rojo 40 (típico de la industria alimentaria)

### Use of pineapple peel as adsorbent of r40 (typical dye in food industry)

Viviana Liseth Urrego Durango<sup>1</sup>, Paula Andrea Vásquez-Noreña<sup>2</sup>, Rolando Barrera Zapata<sup>3</sup>

Recibo: 01.02.2018 Aceptado: 23.04.2018

Urrego, V., Vásquez-Noreña, P. y Barrera, R. (2018). Uso de cáscara de piña como adsorbente de rojo 40 (típico de la industria alimentaria). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 5(1). 87-95. doi:<http://dx.doi.org/10.23850/24220582.1362>

#### Resumen

En la siguiente investigación se estudió el efecto de diferentes parámetros de operación en el proceso de adsorción de colorante Rojo 40 (diluido en una matriz acuosa) sobre cáscaras de piña. Se encontró que las cáscaras de piña pueden llegar a remover hasta el 84% del colorante, valor inferior al que se consigue utilizando carbón activado comercial como adsorbente (remoción cercana al 99%), pero con la ventaja que las cáscaras de piña no requieren procesos químicos ni térmicos para su fabricación y representan la valoración de un residuo agroindustrial. Dentro de las variables analizadas se incluyeron la cantidad y el tamaño de partícula del adsorbente, el tiempo de operación y la temperatura, encontrándose mayores porcentajes de remoción de colorante utilizando 150 mg de adsorbente, tamaños de partícula entre 0.125 y 180  $\mu$ m y 5 h de operación. Aparentemente la temperatura no tiene un efecto significativo sobre el fenómeno dentro de los rangos analizados (25-45°C). Se espera que los resultados obtenidos aporten al desarrollo de procesos agroindustriales donde se dé una valoración y uso racional a desechos agroindustriales como las cáscaras de piña.

**Palabra clave:** cáscaras de piña, desechos agroindustriales, procesos de adsorción, remoción de colorantes, R40

<sup>1</sup>Universidad de Antioquia; [vivianaurr@hotmail.com](mailto:vivianaurr@hotmail.com); Colombia

<sup>2</sup>Universidad de Antioquia; [paulavasquez40@gmail.com](mailto:paulavasquez40@gmail.com); Colombia

<sup>3</sup>Universidad de Antioquia; [rolando.barrera@udea.edu.co](mailto:rolando.barrera@udea.edu.co); <http://orcid.org/0000-0002-8718-9242>; Colombia

## Abstract

The effect of different operating parameters on the adsorption of R40 (diluted in an aqueous matrix) on pineapple peels was studied. It was found that pineapple peels can remove up to 84% of the colorant, a value lower than that achieved using commercial activated carbon as adsorbent (removal close to 99%), but with the advantage that pineapple peels do not require chemical neither thermal processes for their manufacture, and represent the valuation of agroindustrial wastes. The variables analyzed included the amount and particle size of the adsorbent, the operating time and temperature. The higher percentages of dye removal were acquired by using 150 mg of adsorbent, particle sizes between 0.125 and 180  $\mu$ m and 5 h of operation. Apparently the temperature does not have a significant effect on the phenomenon within the ranges analyzed (25-45°C). It is expected that the results obtained contribute to the development of agroindustrial processes where there is a valuation and rational use to agroindustrial wastes such as pineapple peels.

**Keywords:** pineapple peels, agro-industrial waste, adsorption processes, dye removal, R40.

## Introducción

En la actualidad se producen más de 10,000 tipos diferentes de colorantes que incluyen ácidos, básicos, dispersos, azo, diazo y antraquinonas, entre otros (Villada y Hormaza, 2015), su volumen global de producción supera las 700,000 toneladas anuales (Sanja, Koprivanac y Božić, 2004). Infortunadamente, se estima que entre el 10 y el 15% del total de colorantes producidos se liberan a los ecosistemas acuáticos a través de los efluentes industriales (Tristán, 2012). El uso de colorantes orgánicos sintéticos se justifica por su empleo en el acabado de múltiples productos, cuyo aspecto colorido impacta favorablemente al consumidor y estimula su mercado (Villada y Hormaza, 2015). Es por ello que industrias como la textil, alimentaria, cosmética, papelería y farmacéutica precisan de grandes cantidades de colorantes orgánicos sintéticos en sus actividades diarias.

Entre los colorantes más utilizados en diferentes procesos e industrias, se encuentra el Rojo 40 (R40), un colorante ácido de la clase “monoazo” de fórmula química  $C_{18}H_{14}N_2Na_2O_8S_2$

y de peso molecular 496.42g/mol. Este colorante tiene propiedades ácidas y una estructura aromática constituida por tres anillos bencénicos. Aunque se le atribuyen características de toxicidad y patogenicidad en la mayoría de productos alimenticios en los cuales se utiliza (que incluyen bebidas gaseosas, productos lácteos y de repostería) y su consumo no se recomienda para la población infantil en algunos países de Europa (Moreno, Figueroa y Hormaza, 2012), algunas de sus propiedades como alta solubilidad en agua, fácil implementación y bajo costo lo convierten en un colorante de interés para otros sectores productivos, como la industria textil y la elaboración de tintas para tatuajes (Villada y Hormaza, 2015).

Para la remoción de colorantes disueltos en aguas residuales, el uso de adsorbentes como el carbón activado se considera una de las metodologías de tratamiento más eficientes para la decoloración de los efluentes provenientes de diversas industrias (Villada y Hormaza, 2015). Esto es debido a su alta capacidad de adsorción, dada por su elevada área de superficie específica

y la distribución del tamaño de poro (Baizabal, 2011). A pesar de ello, la obtención del carbón activado es costosa por las altas temperaturas (que pueden ir entre 500°C y 1000°C) y/o químicos (que pueden incluir ácidos, cloruros, hidróxidos y/o carbonatos, entre otros), dependiendo del proceso de activación.

Dentro de las alternativas al carbón activado se encuentra el biochar (residuo sólido de la transformación térmica de biomasa en energía), que como subproducto de procesos de obtención de energía tiene ventajas ambientales y económicas sobre el carbón activado (Ramos, 2012). Adicionalmente, diversos estudios se han centrado en evaluar la capacidad de retención de colorantes que presentan diferentes desechos agrícolas, sin involucrar tratamiento alguno, es decir, utilizando directamente la biomasa residual para el proceso de adsorción (Hormaza y García, 2009; Ramos, 2010; Uchimiya, 2016). En ese caso, se ha reportado que la adsorción se ve afectada por el tamaño de partícula del adsorbente, ya que el fenómeno puede darse al interior de las partículas, sobre las paredes de los poros o en puntos específicos y por lo tanto la cantidad de material adsorbido es proporcional al área superficial (Tejada, Villabona y Garcés, 2015). La adsorción también se ve afectada por la temperatura ya que un aumento elevado de la temperatura puede causar un cambio en la textura del adsorbente y un deterioro del material que ocasiona pérdida de la capacidad de adsorción (Tejada *et al.*, 2015), a la vez que puede favorecer o desfavorecer procesos de dilución del contaminante en la fase acuosa.

El valor del pH de la fase acuosa es otro factor relevante tanto en la adsorción de cationes como de aniones, siendo el efecto distinto en ambos casos: mientras que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4.5, la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1.5 y 4 (Tejada *et al.*, 2015).

Varios autores han estudiado el fenómeno de la adsorción de R40 sobre diferentes adsorbentes que incluyen residuos agroindustriales. Moreno *et al.*, (2012), analizaron su adsorción sobre la tusa de maíz, logrando los mejores resultados con un pH ácido (2.0), dosificación del adsorbente 7.9 g L<sup>-1</sup>, concentración de colorante de 10ppm y tiempo de contacto de 2 h. Por su parte, Suárez (2016), analizó diferentes tipos de biochar obtenidos mediante gasificación de maderas forestales, encontrando que el biochar obtenido a partir de *Pinus Pátula* tiene posibles usos como adsorbente de R40 (con unas remociones cercanas al 50%).

Con esta investigación se propuso incluir procesos de activación para mejorar las propiedades adsorbentes del biochar. En ambos estudios (Moreno *et al.*, 2012; Suárez, 2016), se realizaron ensayos bajo diferentes condiciones, utilizando en común velocidad de agitación constante (125rpm), volúmenes entre 25-50 ml, temperatura ambiente (25°C), tamaño de partícula de adsorbente <0.75mm y pH ácido.

El uso de la piña (pulpa, cáscara, tallo y hojas) también ha sido estudiado para la remoción de contaminantes como azul de metileno, azul turquesa G, azul básico BB3, verde básico BG4 y rojo Congo en aguas residuales (Weng, Lin y Tzeng, 2009; Chowdhury, Chakraborty y Saha, 2011; Zhang, Tan, Wei y Wang, 2013; Mahamad, Zaini y Zakaria, 2015; Xiaofei *et al.* 2015; Chan, Tan, Abdullah y Ong, 2016). En general se destaca que estos adsorbentes resultan de bajo costo y efectivos para la remoción de los colorantes en matrices acuosas.

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.

En este estudio se exploró el uso de residuos de la piña, particularmente las cáscaras, como adsorbente de contaminantes colorantes de la industria alimentaria (R 40) en matrices acuosas. La cáscara de piña, es un subproducto que se genera en relativo alto volumen en diferentes zonas de Colombia (como Chocó, Urabá, Valle y Llanos orientales) y es comúnmente considerado un desecho sin valor (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012; Alzate, 2014).

## Materiales y métodos

### Adecuación de la materia prima y análisis

Las piñas (variedad “oro miel”), se adquirieron en mercados locales, se lavaron y pelaron manualmente. A las cáscaras se les realizó un escaldado (inactivación de microorganismos y enzimas por inmersión en agua hirviendo durante 5 minutos) y posteriormente se llevaron a un proceso de secado (al sol) hasta que presentaron una consistencia quebradiza para su reducción de tamaño.

Para los análisis se utilizó un espectrofotómetro Thermo Scientific Genesys 10S UV- Vis spectrophotometer. Mediante un barrido se determinó la longitud máxima de onda para el colorante R40 (505nm) y posteriormente se construyó una curva de calibración utilizando soluciones de colorante de concentración conocida en un rango entre 5 y 100ppm.

### Pruebas de adsorción

Se estableció un protocolo de acuerdo a reportes de la literatura, para un experimento “estándar”: se preparó una solución de colorante Rojo 40 (100 ppm) y se mantuvo a un pH de 2 (Moreno *et al.*, 2012; Villada y Hormaza, 2015), utilizando HCL (1M). Las lecturas de pH se tomaron en un pH-metro Hanna instruments HI 2221. En un Erlenmeyer se adicionaron 50 ml de la solución preparada y 100 mg de adsorbente

con tamaño de partícula malla 30, previamente seco en una balanza de humedad (Precisa XM 60). La solución se mantuvo en un “shaker” VWR Incubating orbital shaker a 120 rpm y 25°C durante 24h (Suárez, 2016). Después de ese tiempo se determinó la concentración del colorante mediante espectrofotometría UV-Vis, a una longitud de onda de 505 nm. La capacidad de adsorción (q) se determinó con la ecuación 1 (Moreno *et al.*, 2012) y el % remoción (%R) con la ecuación 2 (Villada y Hormaza, 2015).

$$q = \frac{(C_i - C_e) * V}{W} \quad (1)$$

$$\%R = \left( \frac{C_i - C_e}{C_i} \right) * 100 \quad (2)$$

Donde q: capacidad de adsorción (mg adsorbidos de colorante/g de adsorbente),  $C_i$ : concentración inicial de la solución (mg/L),  $C_e$ : concentración final (mg/L), V: volumen de la solución (L), W: masa de adsorbente seco (g).

### Efecto del tamaño de partícula

Para evaluar el efecto del tamaño de partícula de los adsorbentes, el material (cáscara de piña) se trituró en un molino de cuchillas (licuadora doméstica) y se separó usando tamices estándar (ASTM) Malla 20, 30, 40, 50, 80 y 120. Con cada tamaño de material se realizó el experimento usando las condiciones descritas en el “experimento estándar” y el tamaño de partícula que dio mejores resultados (mayor %R) se fijó para los experimentos posteriores.

### Efecto de la cantidad de adsorbente

Se utilizaron 3 cantidades diferentes de adsorbente: 100mg, 150mg y 200mg. Las demás condiciones correspondieron a las definidas en el “experimento estándar”, utilizando el mejor tamaño de partícula según los experimentos anteriores.

### Efecto del tiempo de contacto

El proceso se llevó a cabo para tiempos de 1, 3, 5, 8, 16, 20 y 24h, usando las condiciones del “experimento estándar”, con el mejor tamaño de partícula y cantidad de adsorbente de acuerdo a los experimentos anteriores. El tiempo en el cual se obtuvo mayor %R se fijó para los experimentos posteriores.

### Efecto de la temperatura

El experimento se realizó a 25°C, 35°C y 45°C, usando las condiciones del “experimento estándar”, la cantidad y tamaño de partícula de adsorbente y el tiempo que dieron mejores resultados en las pruebas anteriores.

### Reproducibilidad de los resultados y recuperación de la cáscara de piña

El proceso bajo las mejores condiciones encontradas se replicó 5 veces para estimar el %R promedio y la desviación estándar en

las mediciones, lo cual proporciona una idea sobre la incertidumbre o error asociado a la experimentación y cuantificación usados en esta investigación. Para efectos de comparación, las mejores condiciones encontradas para el proceso se utilizaron usando como adsorbente carbón activado comercial.

La recuperación de la cáscara de piña se hizo para el experimento bajo las mejores condiciones encontradas. Para ello, se recuperó por filtración la cáscara de piña y se lavó con acetona hasta que no se percibió ningún cambio de color en el solvente (aproximadamente 90 ml). Luego las cáscaras se secaron y se usaron nuevamente como adsorbente en el proceso.

### Resultados y discusión

La Figura 1 muestra los resultados para la curva de calibración. Se puede observar la tendencia lineal en el rango de concentraciones del contaminante estudiadas, garantizando confiabilidad en las mediciones.

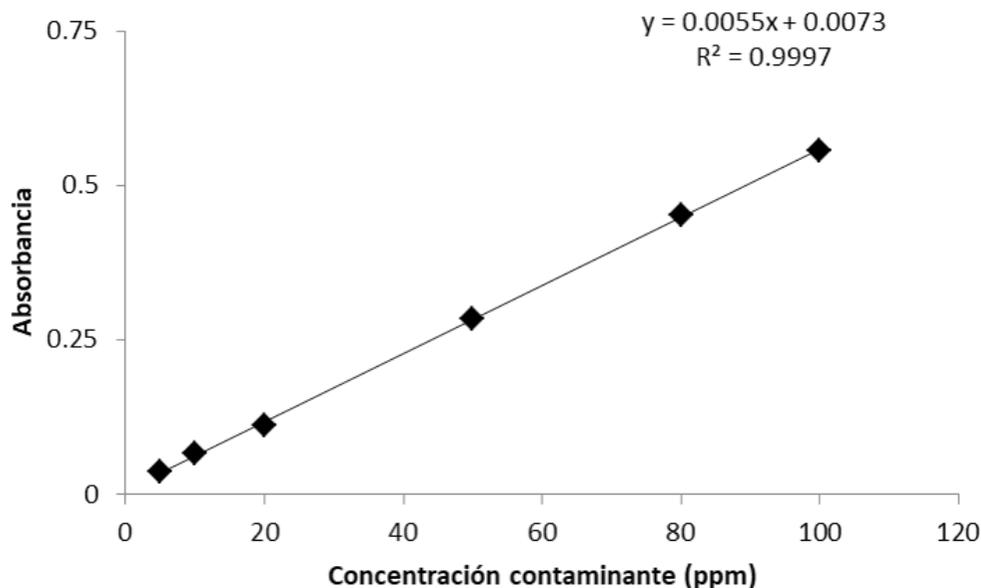


Figura 1. Curva de calibración para el contaminante Rojo 40

Elaboración propia

### Efecto del tamaño de partícula

En la Tabla 1 se muestra el porcentaje de remoción para el colorante R40 cuando se utilizan diferentes tamaños de partícula de adsorbente.

Tabla 1.  
*Efecto de tamaño de partícula*

Tamiz ASTM	Abertura (mm)	%R
Malla 20	0.850	68.02
Malla 30	0.600	68.35
Malla 40	0.425	71.70
Malla 50	0.300	71.50
Malla 80	0.180	74.30

Fuente:Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 1, el %R aumenta al disminuir el tamaño de partícula. El resultado se explica porque al utilizar la misma cantidad de adsorbente en todos los experimentos, cuando se reduce el tamaño de partícula se incrementa el área superficial del material favoreciendo el proceso de adsorción (Suárez-Hernández, Ardila y Barrera-Zapata, 2017). Si bien se espera que tamaños de partícula inferiores resulten más efectivos para el proceso, para los siguientes experimentos se utilizó el material que pasó la malla 80 y quedó retenido en una malla 120, es decir con un tamaño de partícula promedio entre 0.180 y 0.125 mm, puesto que su obtención se vio favorecida con los equipos y procedimientos utilizados para la reducción del tamaño.

### Efecto de la cantidad de adsorbente

El efecto de la cantidad de cáscara utilizada en el proceso se muestra en la Tabla 2, donde se observa que entre 100 y 150 mg aumenta el valor de %R, lo cual sugiere que la mayor disponibilidad de adsorbente efectivamente retira una mayor cantidad de colorante de la matriz acuosa. Por el contrario entre 150 y 200 mg se observa que el %R es aproximadamente constante, indicando que aparentemente hay

material adsorbente que no participa en la remoción del colorante. Para los siguientes experimentos se fija la cantidad de adsorbente en 150mg.

Tabla 2.  
*Efecto de la cantidad de cáscara*

Solución	% Remoción
100 mg	74.35
150 mg	83.48
200 mg	83.65

Fuente:Elaboración propia

### Efecto del tiempo de contacto

En la Tabla 3 se presentan los resultados para el efecto del tiempo de contacto. Aunque hay relativa poca variabilidad en los resultados, se nota un leve incremento en el %R hasta las 5 h, a partir de allí los valores son aproximadamente constantes. De acuerdo a los resultados observados se fijó un tiempo de 5 horas para los siguientes experimentos.

Tabla 3.  
*Efecto del tiempo de contacto con la cáscara de piña*

Tiempo(h)	%Remoción
1	83.95
3	85.63
5	87.23
8	87.23
16	86.51
20	87.54
24	87.67

Fuente:Elaboración propia

### Efecto de la temperatura

En la Tabla 4 se muestran los resultados de la comparación del %R para 25, 35 y 45°C. Para efectos de comparación se tomaron muestras a 1, 3 y 5 horas en cada uno de esos experimentos. Como se observa en la tabla 5, al aumentar la temperatura hay un sutil aumento en el %R pero no es significativo como para utilizar 35 o

45°C en la experimentación, por lo tanto, se fijó la temperatura ambiente como valor apropiado para desarrollar los demás experimentos. El incremento en la temperatura de operación supone costos adicionales que requieren estudios técnico-económicos que ayuden a determinar si favorecen o no la economía del proceso.

Tabla 4.

*Efecto de la temperatura sobre el %R*

Tiempo (h)	25°C	35°C	45°C
1	84.25	85.37	87.26
3	85.43	85.96	88.38
5	87.23	87.55	91.31

Fuente:Elaboración propia

### Reproducibilidad de los resultados

Las condiciones de operación para las cuales se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a %R se resumen en la Tabla 5. Bajo esas condiciones se realizaron 5 réplicas del experimento y se muestran los resultados en la tabla 6, donde adicionalmente se muestran de manera comparativa los resultados obtenidos utilizando carbón activado como adsorbente bajo las mismas condiciones de operación.

Tabla 5.

*Mejores condiciones para el proceso*

Parámetro	valor
pH	2.0
Concentración rojo 40	100ppm
Velocidad de agitación	120rpm
Cantidad de adsorbente (cáscara de piña)	150mg
Tamaño partícula de adsorbente	0.125 - 0.180mm
Temperatura	Ambiente (» 25°C)
Tiempo	5 h

Fuente:Elaboración propia

De la Tabla 6 se observa para el porcentaje de remoción (%R) un promedio de 87.76, con una desviación estándar de 0.37 y para la capacidad de adsorción (q) un promedio de 25.3 con una desviación de 0.11, es decir, el error asociado a la experimentación y mediciones

Tabla 6.

*Pruebas de adsorción a las mejores condiciones encontradas*

Adsorbente	% remoción	q (mg adsorbato/g adsorbente)
cáscara de piña réplica 1	87.44	25.20
cáscara de piña réplica 2	87.84	25.32
cáscara de piña réplica 3	87.24	25.14
cáscara de piña réplica 4	88.04	25.38
cáscara de piña réplica 5	88.24	25.44
carbón activado	99.84	30.16

Fuente:Elaboración propia

(la incertidumbre) es relativamente bajo y los valores determinados para % de remoción y capacidad de adsorción en todas las pruebas pueden considerarse confiables. Si bien los resultados al utilizar carbón activado comercial son superiores, vale la pena recordar que es un material que requiere procesos térmicos y/o químicos para su activación y en ese aspecto, la cáscara de piña puede presentar ventajas desde el punto de vista económico (es un residuo) y ambiental (no requiere proceso alguno previo para ser usada como adsorbente).

En la Tabla 7 se muestra la comparación entre la prueba realizada con adsorbente fresco y reutilizado. Si bien se observa una disminución en el %R y q, puede destacarse que el material recuperado mantiene una relativamente buena capacidad de adsorción y puede ser interesante abordar estudios complementarios donde se analice en mayor detalle el efecto del lavado (tiempo, solvente, etc.) en la posibilidad de recuperar el adsorbente y de igual manera, evaluar la posibilidad de recuperar el colorante.

Tabla 7.

*Recuperación cascara de piña*

Solución	% remoción	q
Fresco	83.441	25.203
Recuperado	55,804	16,923

Fuente:Elaboración propia

## Conclusiones

De acuerdo a los resultados de esta investigación, puede concluirse que la cáscara de piña representa una alternativa atractiva para el estudio de remoción de contaminantes, debido a su bajo costo de obtención (es un residuo) y su fácil implementación. Si bien la capacidad de adsorción es inferior a la que se consigue utilizando carbón activado como adsorbente, para el caso de las cáscaras de piña no se requieren procesos de activación (térmicos ni químicos), haciéndolas un adsorbente más atractivo desde el punto de vista ambiental.

Se espera que los resultados obtenidos aporten al desarrollo de procesos agroindustriales donde se dé un mejor y más racional uso a los desechos, en este caso a las cáscaras de piña.

## Referencias

- Alzate, J. (2014). *Manejo y Producción del cultivo de piña oro miel la Hacienda Guacas, Cerritos-Risaralda*. Recuperado de: <http://www.catalogodig.cotecnova.edu.co/verinfo.php?idtrabajo=42>
- Baizabal, A. (2011). *Remoción de azul de metileno en agua empleando bagazo de agave salmiana como biosorbente* (Tesis de grado). Universidad Autónoma San Luis de Potosí. México.
- Chan, S., Tan, Y., Abdullah, A. & Ong, S. (2016). 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, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 61, 306-315. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.01.010>
- Chowdhury, S., Chakraborty, S. & Saha, P. (2011). Biosorption of Basic Green 4 from aqueous solution by *Ananas comosus* (pineapple) leaf powder, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 84 (2), 520-527. doi:10.1016/j.colsurfb.2011.02.009
- Hormaza, A. y García, E. (2009). Estudio del proceso de biosorción de dos residuos avícolas, *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 75 (3), 329-338.
- Mahamad, M., Zaini, M. & Zakaria, Z. (2015). Preparation and characterization of activated carbon from pineapple waste biomass for dye removal, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 274-280. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.03.009>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, (2012). *Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas 2007-2011*, Bogotá: J.L Impresores.
- Moreno, A., Figueroa, D. y Hormaza, A. (2012). Diseño estadístico para la remoción eficiente del colorante rojo 40 sobre tusa de maíz, *Producción más Limpia*, 7 (2), 9-19.
- Ramos, H. (2012). *Remoción de cianuro en relaves auríferos utilizando biochar producido a partir de tallos de *Gliricidia sepium** (Tesis de grado). Universidad de Cartagena. Colombia.
- Ramos, J. (2010). *Estudio del proceso de biosorción de colorantes sobre borra (cuncho) de café*, Universidad Autónoma del Caribe. Recuperado de: <http://repositorio.uac.edu.co/handle/11619/2145>
- Sanja, N., Koprivanac, A. & Božić, A. (2004). Removal of some reactive dyes from synthetic wastewater by combined Al

- (III) coagulation/carbon adsorption process, *Dyes and Pigments*, 62 (3), 291-298. [https://doi.org/10.1016/S0143-7208\(03\)00148-7](https://doi.org/10.1016/S0143-7208(03)00148-7)
- Suárez-Hernández, L., Ardila, A. y Barrera-Zapata, R. (2017). Caracterización morfológica y fisico-química de biocarbonos producidos por la gasificación de especies forestales seleccionadas. *Facultad de Ingeniería, UPTC*, 26 (46), 123-130.
- Suárez, L. (2016). *Caracterización de procesos y productos de valor agregado obtenidos mediante transformación termoquímica de maderas con potencial forestal en Colombia* (Tesis de grado). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Tejada, C., Villabonaz, Á. y Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico, *Revista Tecno Lógicas*, 18 (34) 109–123.
- Tristán, A. (2012). *Biosorción del colorante rojo congo en sistemas en lote utilizando biomasa de chlorella sp.*, (Tesis de grado). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Uchimiya, S. (2016). Biochar Production Technology. En: Y. Sik., S. Uchimiya., S. X. Chang. & N. Bolan. (Ed.), *Biochar: Production, Characterization and Applications* (p. 53). New York: CRC Press.
- Villada, Y. y Hormaza, A. (2015). Análisis simultáneo de la remoción de azul brillante y rojo 40 mediante espectrofotometría de derivadas, *Ingeniería y Desarrollo*, 33 (81), 38-58. doi: <http://dx.doi.org/10.14482/inde.33.1.5526>
- Weng, C., Lin, Y. and Tzeng, T. (2009). Removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto pineapple leaf powder, *Journal of Hazardous Materials*, 170 (1), 417-424. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.04.080>
- Xiaofei, T., Yunguo, L., Guangming, Z., Xin, W., Xinjiang, H., Yanling, G. & Zhongzhu, Y. (2015). Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions, *Chemosphere*, 125, 70-85. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.058>
- Zhang, X., Tan, J., Wei, X. & Wang, L. (2013). Removal of Remazol turquoise Blue G-133 from aqueous solution using modified waste newspaper fiber, *Carbohydrate Polymers*, 92 (2), 1497-1502. doi: 10.1016/j.carbpol.2012.10.066