



Remoción de compuestos fenólicos totales de aguas del beneficio de café sobre una matriz de origen natural*

Removal of total phenolic compounds from coffee processing waters on a matrix of natural origin

CAICEDO-ORJUELA, OBRADITH¹ ; MAHECHA-PÉREZ, JUAN ANDRÉS² ; NAVARRETE-RODRIGUEZ, LUISA FERNANDA³

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 5 de Junio 18de Agosto 2020.

Aprobado para publicación: 30 de Noviembre 2021.

* Proyecto de investigación de origen: "Inmovilización de enzimas en matrices poliméricas basado en intercambio iónico". Financiación: FODEIN, Universidad Santo Tomás. Culminación. Noviembre 2019.

1 Universidad Santo Tomás. Departamento de Ciencias Básicas. Grupo de Investigación Ciencia e Ingeniería de Materiales. M.Sc. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-3767-0636>

2 Universidad Santo Tomás. Facultad de Ingeniería Ambiental. Ing. Ambiental. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-3415-5233>

3 Universidad Libre, Facultad de Ingeniería. Grupo de Investigación Tecnoambiental. M.Sc. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-8747-0042>

Correspondencia: obradithcaicedo@usantotomas.edu.co

Cómo citar este artículo: CAICEDO-ORJUELA, OBRADITH; MAHECHA-PÉREZ, JUAN ANDRÉS; NAVARRETE-RODRIGUEZ, LUISA FERNANDA. Remoción de compuestos fenólicos totales de aguas del beneficio de café sobre una matriz de origen natural. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 20, n. 2, 2022, p. 18-28. Doi: <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n2.2022.1616>

RESUMEN

*El uso de distintos materiales para la adsorción de diferentes tipos de moléculas es ampliamente conocido. Sin embargo, en la actualidad, ha surgido la necesidad de usar materiales de origen natural dado su composición, porosidad y características intrínsecas como ser renovables, económicas y amigables con el medio ambiente para la retención de contaminantes como los fenoles. Este estudio tuvo como objetivo disminuir el contenido de compuestos fenólicos en aguas residuales del beneficio del café. Para esto, se determinó el porcentaje de retención de dichos compuestos en *Luffa cylindrica* (estropajo) como material adsorbente. Se evaluó la influencia del pH, tamaño de partícula y tiempo de contacto bajo diseño experimental factorial 2^3 . Se logró un porcentaje de retención de fenoles totales de 97,8 % a pH 7,0, tamaño de partícula 850 μm y 2 h de exposición. El comportamiento cinético obtenido corresponde a un modelo de pseudo segundo orden y la adsorción de compuestos fenólicos totales por *Luffa cylindrica* está representado por la isoterma de Freundlich. Adicionalmente, se logró disminuir el valor de otros índices de contaminación como DQO y turbidez, por tanto, el tratamiento con *Luffa cylindrica* se constituye en una valiosa alternativa para el tratamiento de aguas provenientes del beneficio del café.*

ABSTRACT

*The use of different materials for the adsorption of different types of molecules is well known. However, currently there is a need to use materials of natural origin given their composition, porosity and characteristics such as being renewable, economical and friendly to the environment for the retention of contaminants such as phenols. The objective of this study was to reduce the content of phenolic compounds in wastewater from coffee processing wastewater. To achieve this, the percentage of retention of the phenolic compounds was evaluated on the vegetable sponge, *Luffa cylindrica* as adsorbent material. The influence of pH, particle size and contact time under experimental design was evaluated in a 2^3 model. A total phenol retention percentage of 97,8 % at pH 7,0 particle size 850 μm and 2 h exposure was achieved. The kinetic behaviour corresponds to a pseudo second order model, and the adsorption of the phenolic compounds-*Luffa cylindrica* is represented by the Freundlich isotherm. Additionally, it was possible to reduce the value of other pollution parameters such as COD and turbidity. Therefore, treatment with *Luffa cylindrica* is a valuable alternative for the treatment of water from the processing of coffee*

PALABRAS CLAVE:

Cinética Química; Tratamiento del Agua; Química Ambiental; Compuestos Fenólicos; *Luffa cylindrica*.

KEYWORDS:

Chemical Kinetics; Water Treatment; Environmental Chemistry; Vegetable Sponge; Phenolic Compounds; *Luffa cylindrica*.

INTRODUCCIÓN

El consumo de café es sin duda una costumbre marcada en los hábitos alimenticios de muchas personas, razón por la que su comercialización se constituye en la base de la economía de una gran cantidad de familias que se dedican a su producción alrededor del mundo (Janissen and Huynh, 2018). Uno de los métodos más comunes para el procesamiento del café es el denominado beneficio húmedo que incluye despulpado, fermentación, lavado y secado del grano (Sanz *et al.*, 2019), siendo el agua residual que se origina durante este proceso está conformada por una diversidad de compuestos orgánicos como proteínas, lípidos, pectinas, carbohidratos, cafeína, compuestos fenólicos entre otros (Castro *et al.*, 2018; Rodríguez *et al.*, 2000). La cafeína, taninos y compuestos fenólicos pueden ser toxinas potenciales para la actividad biológica de microorganismos que se encuentran en los cuerpos de agua por sus características estructurales (Fernandez *et al.*, 2017; Janissen and Huynh, 2018), aportando a la concentración de la demanda química de oxígeno (DQO), pueden ocasionar disminución en el oxígeno disuelto y tener efecto sobre la vida de la flora y fauna en el agua favoreciendo la proliferación de microorganismos patógenos y produciendo olores, sabores y colores desagradables (Arriel *et al.*, 2015).

Los compuestos fenólicos presentes en las aguas residuales del café se encuentran en concentraciones que varían entre 10 y 17000 ppm (Batista *et al.*, 2015; Mirón-Mérida *et al.*, 2018) y son considerados como resistentes a la biodegradación en el medio ambiente (Janissen and Huynh, 2018), por tanto, tienen afectación negativa en los microorganismos descomponedores de materia orgánica (Fernandes *et al.*, 2017). Todas estas características han llevado a que se utilicen procesos químicos, físicos y biológicos para su tratamiento, siendo el de mayor uso la digestión anaerobia, no obstante, estas tecnologías no han logrado el tratamiento de los fenoles.

Existen estudios para el tratamiento de fenoles que se basan en procedimientos catalíticos (Peralta *et al.*, 2015) y procesos de adsorción en materiales carbonosos (Mohammadi *et al.*, 2020), sin embargo, el uso de algunos de estos materiales puede llegar a ser costoso por lo que se ha promovido la búsqueda de materiales y procedimientos más económicos.

La *Luffa cylindrica* (L.) Roem. (*Cucurbitaceae*), conocida comúnmente como estropajo, ha mostrado ser un material apropiado en la retención de iones como cianuro (Arana *et al.*, 2017), cobre (Liatsou *et al.*, 2017; Liatsou *et al.*, 2020), cromo (De Sousa *et al.*, 2019), colorantes (Caicedo *et al.*, 2018; Demir and Deveci, 2018; Baharlouei *et al.*, 2018), hormonas (Ribeiro *et al.*, 2018) y para la inmovilización de microorganismos degradadores de fenoles (Bera and Mohanty, 2020) entre otros contaminantes por tener características adsorbentes naturales debido a los grupos funcionales presentes en el material que permiten interacciones con los contaminantes, además de ser biodegradable y económico.

Este trabajo plantea el uso de *Luffa cylindrica* como una alternativa asequible para la adsorción de compuestos fenólicos en el tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficio del café. El uso de la *Luffa cylindrica* como parte del tratamiento, no solo permitiría reducir de manera importante el contenido de compuestos fenólicos, sino eliminar la coloración y disminuir el DQO.

MÉTODO

Material adsorbente

Se usó como material adsorbente el fruto (esponja) en estado maduro de *Luffa cylindrica* procedente de un mercado local de la ciudad de Bogotá (Colombia) (4°36'46"N74°04'14"O, altitud 2640 m.s.n.m., temperatura promedio 19,5 °C y 75,5 % H.R.). Este fue sometido a sucesivos lavados con agua destilada en proporción 50:50 y secado a 80 °C durante 24 h. Posteriormente, fue cortado con tijeras y tamizado con tamices de laboratorio para análisis granulométrico de acero inoxidable para obtener dos tamaños de partícula (≤ 850 y ≤ 2000 μm)

Para la caracterización de sitios ácidos y básicos se trataron por separado 500 mg de *Luffa cylindrica* con 50 mL de HCl y 50 mL NaOH 0,01 N durante 5 días a 20 °C. Posteriormente, se llevaron a cabo respectivas titulaciones del HCl con NaOH 0,01 N y de NaOH con HCl 0,01 N. Las titulaciones se realizaron por triplicado usando un titulador potenciométrico Hanna HI 901. Los resultados se expresaron como meq/g de HCl o de NaOH según sea el caso.

Preparación de la muestra de agua del beneficio húmedo del café

La muestra de agua usada durante el beneficio fue recolectada en una pequeña finca cafetera en la Vereda Coyabo, municipio La Peña, Cundinamarca (Colombia) (5°11'57"N 74°23'37"O altitud: 1230 m.s.n.m., temperatura promedio 25 °C y 19 % H.R.). Esta fue decantada durante 6 h en el laboratorio para eliminar impurezas ajenas al estudio, almacenada en refrigeración a 3 °C por 24 h y protegida de la luz.

Cuantificación de fenoles totales

El contenido de fenoles totales se determinó por el método de Folin-Ciocalteu's (Sanchez *et al.*, 2018), usando ácido gálico como referencia. La concentración se expresó como mg de ácido gálico/L. A partir de una solución patrón (ácido gálico) de 1000 mg L⁻¹ se realizaron las diluciones necesarias con agua desionizada, reactivo de Folin Ciocalteu (RF) y carbonato de sodio al 20 % m/m para obtener disoluciones de concentración 0,20; 20,15; 40,10; 60,05; y 80,00 mgL⁻¹. Las disoluciones se guardaron protegidas de la luz durante 30 min antes de su lectura, en tanto que la curva de calibración se construyó realizando medidas de la absorbancia con espectrofotómetro LaMotte 2000 Smart a 700 nm.

Adsorción de fenoles

Con el fin de establecer condiciones adecuadas para la mayor retención de fenoles sobre la *Luffa cylindrica* se aplicó el diseño experimental factorial 2³, en el que se evaluaron tres variables en dos niveles (pH 5,0 y 7,0; tamaño de partícula 850 y 2000 µm; tiempo de contacto 30 y 120 min) con las combinaciones que se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Variables evaluadas en la retención de fenoles en aguas residuales según diseño experimental 2³.

Experimento	Tiempo (min)	pH	Tamaño de partícula (µm)
1	30	5,0	850
2	120	5,0	850
3	30	7,0	850
4	120	7,0	850
5	30	5,0	2000
6	120	5,0	2000
7	30	7,0	2000
8	120	7,0	2000

Para ello, se tomaron 50,0 mL de la muestra de agua a tratar con concentración de fenoles totales de 81,5 mgL⁻¹ y se ajustaron los parámetros de pH con HCl y NaOH 0,1 N, tamaño de partícula y tiempo de contacto según el diseño experimental. La cantidad de material adsorbente fue 500,0 mg ± 1,0, agitación a 200 rpm y temperatura 20,0 °C ± 1,0. Todos los experimentos se llevaron a cabo por triplicado.

El porcentaje de fenoles totales se obtuvo con la ecuación 1.

$$\% \text{ remoción} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde C_o es la concentración inicial de fenoles (mgL^{-1}), y C_e es el contenido de fenoles en el equilibrio (mgL^{-1}).

Estudio cinético

El estudio cinético para el sistema *Luffa cylindrica* - compuestos fenólicos se evaluó en intervalos de tiempo de 15, 30, 60, 90 y 120 min a partir de una muestra de agua residual con una concentración inicial de fenoles de $81,5 \text{ mg L}^{-1}$. Se usó una relación de *Luffa cylindrica*-agua residual de 1,0 % m/v (Arana *et al.*, 2017). Los experimentos se llevaron a cabo bajo las mejores condiciones obtenidas en el proceso de adsorción según el diseño experimental. Posteriormente, se evaluaron diferentes modelos en su forma lineal.

Isotermas de adsorción

El estudio del proceso de adsorción de fenoles totales sobre *Luffa cylindrica* se evaluó mediante el uso de modelos matemáticos descritos por Langmuir según la ecuación 2 Y de Freundlich según la ecuación 3.

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde q_m es la máxima capacidad de adsorción y K_L es una constante relacionada a la energía libre de adsorción

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde K_F y n son constantes de Freundlich relacionadas con la capacidad e intensidad de adsorción respectivamente (Liu *et al.*, 2010).

En ambos casos se usó su forma lineal teniendo en cuenta que son estos modelos los más comunes para este material (Liu *et al.*, 2010; Arana *et al.*, 2017; Caicedo *et al.*, 2018). Experimentalmente evaluó a partir de 50 mL de agua residual con concentración de fenoles totales de 9,6; 19,1; 38,3; 47,8; 57,4 y 76,5 mgL^{-1} a 20°C usando 500 mg de material adsorbente y bajo las mejores condiciones obtenidas en el proceso de retención.

Análisis de la concentración de la demanda química de oxígeno (DQO).

Se evaluó el DQO a la muestra de agua residual antes y después del tratamiento con *Luffa cylindrica* bajo la técnica reflujo cerrado y el método de análisis SM 5220 C y LDM: 5,3 $\text{mg L}^{-1}\text{O}$.

Análisis FTIR

Como parte de la caracterización de *la Luffa cylindrica* se tomó un espectro IR con transformada de Fourier en un Shimadzu Modelo IR-Prestige 21. El análisis se realizó al material bioadsorbente antes y después de la bioadsorción en un rango de 500 a 4000 cm^{-1} con el objetivo de identificar los principales grupos funcionales presentes en el material y que actuarían en la bioadsorción de los compuestos fenólicos.

Análisis estadístico

Todos los experimentos realizados se llevaron a cabo por triplicado. Los datos obtenidos según el diseño experimental, fueron analizados con un ANOVA, y prueba de Tukey con un nivel de confianza 0,05 con ayuda del software SPSS versión 21. El diagrama de Pareto se calculó con el software Minitab 17.

RESULTADOS

El valor obtenido para los sitios ácidos del *Luffa cylindrica* fue $2,443 \text{ meq g}^{-1} \pm 0,009$ y $1,1843 \text{ meq g}^{-1} \pm 0,1578$ en el caso de sitios básicos. Estos resultados permiten establecer que en el material predominan los grupos ácidos, seguramente representados por la presencia de hidroxilos y carboxilo los cuales son característicos de este material y que tendrían un papel relevante en procesos de adsorción como ya se ha evidenciado en otras investigaciones (Abdelwahab and Amin, 2013; Arana *et al.*, 2017; Caicedo *et al.*, 2018) en donde adicional a estos grupos funcionales, la disposición de las fibras y la presencia microporos son características que suman al proceso de retención.

Retención de fenoles totales sobre *Luffa cylindrica*

El porcentaje de retención de fenoles totales en *Luffa cylindrica* se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Retención de fenoles totales por *Luffa cylindrica* de aguas residuales del beneficio de café.

Experimento	Tiempo (min)	pH	Tamaño de partícula (μm)	% de retención**	Prueba de Tukey*
1	30	5,0	850	7,18 \pm 0,09	d
2	120	5,0	850	9,10 \pm 0,04	d
3	30	7,0	850	95,5 \pm 0,03	ab
4	120	7,0	850	97,8 \pm 0,01*	a
5	30	5,0	2000	7,26 \pm 0,01	d
6	120	5,0	2000	4,66 \pm 0,04	d
7	30	7,0	2000	80,8 \pm 0,01	c
8	120	7,0	2000	84,9 \pm 0,01	c

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p=0,05$) en la prueba de Tukey. $p < 0,05$; $F = 406,25$

**Los valores de porcentaje de retención son el resultado de triplicados.

El ANOVA indicó que existen diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de retención de fenoles con los experimentos realizados. Las mejores condiciones para remoción de fenoles totales se obtuvieron con el experimento 4, es decir, 120 min de agitación, pH 7,0 y tamaño de partícula 850 μm . Bajo dichas condiciones fue posible retener el 97,8 % de fenoles totales, lo que equivale a 8,15 mg de fenoles/g de *Luffa cylindrica*, valor cercano al obtenido en estudios similares (Abdelwahab and Amin, 2013). Por otro lado, como se observa en la figura 1 el tiempo de contacto no representa un factor determinante cuando se evalúan parámetros como pH y tamaño de partícula, en contraste, la mayor retención se observa a pH 7, es posible que este valor este por encima del punto de carga cero del material (Arana *et al.* 2017) por lo que no se presentarían fenómenos de repulsión electrostática entre la superficie de la *Luffa cylindrica* y los fenoles lo que favorece el proceso de adsorción. Adicionalmente, se ha encontrado que si el pH del medio es menor a los valores de pKa de fenoles, la adsorción será mejor (Liu *et al.*, 2010).

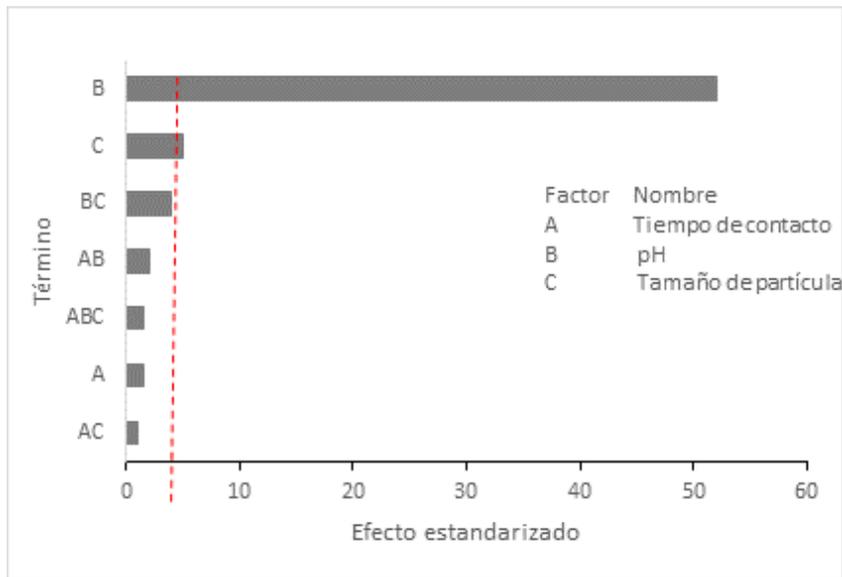


Figura 1. Diagrama de Pareto para el proceso de adsorción de fenoles en *Luffa cylindrica*

Cinética de adsorción

Los resultados obtenidos en el análisis cinético se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Evaluación de modelo cinético en la retención de fenoles en *Luffa cylindrica*.

Forma lineal	Gráfica	R ²
Orden Cero		
$C_e = -kt + C$	$C_e \text{ Vs } t$	0,405
Primer orden		
$\ln C_e = -kt + \ln C_o$	$\ln C_e \text{ Vs } t$	0,570
Segundo orden		
$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_o} + kt$	$\frac{1}{C_e} \text{ Vs } t$	0,769
Pseudo primer-orden		
$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - kt$	$\ln(q_e - q_t) \text{ Vs } t$	0,895
Pseudo segundo-orden		
$\frac{t}{q_e} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{1}{q_e} t$	$\frac{t}{q_e} \text{ Vs } t$	0,999
$K_{(g \text{ mg}^{-1} \text{ min}^{-1})}$: 0,045	$q_e \text{ (mg/g)}$: 7,65	

Los parámetros usados para determinar el orden de la cinética involucraron q_e definida en la ecuación 4, y q_t que corresponde a la cantidad retenida en cada tiempo (mg g^{-1}).

Donde, C_0 es la concentración inicial de fenoles (mg L^{-1}), y C_e la concentración de fenoles en el equilibrio (mg L^{-1}), V el volumen de la solución (L), y M la masa de *Luffa cylindrica* adicionada (g). Por otro lado, se usó como criterio de selección el valor de R^2 más cercano a uno.

Los resultados indicaron que el sistema *Luffa cylindrica* – fenoles totales esta mejor representado por una cinética de pseudo segundo orden. Este modelo es coherente con los procesos en los que las interacciones entre el sorbente y el adsorbente se deben a factores no covalentes (Abdelwahab and Amin, 2013; Arana *et al.*, 2017; Caicedo *et al.*, 2018).

Isotermas de adsorción

Los resultados que se muestran en el Cuadro 4 resumen los parámetros obtenidos para los modelos evaluados.

Cuadro 4. Parámetros de adsorción de fenoles sobre *Luffa cylindrica* para modelos de Langmuir y Freundlich.

Modelo de Isoterma	Parámetro	
Langmuir	Q_m (mg/g)	22,32
	K_L (L/mg)	0,10
	R^2	0,7076
Freundlich	K_F (mg/g)	2,03
	n_f	0,83
	R^2	0,9959

Estos evidencian que el modelo de Freundlich es el más adecuado para describir el proceso de adsorción en el sistema fenoles totales - *Luffa cylindrica* bajo las condiciones de estudio; supone que la superficie del material adsorbente es heterogénea y que los sitios de sorción tienen distintas afinidades, por tanto, la adsorción de fenoles no sería por quimisorción y no hay interacción entre moléculas (Arana *et al.*, 2017).

Análisis FT-IR

En la figura 2 se presenta el espectro IR de *Luffa cylindrica* antes y después del proceso de adsorción.

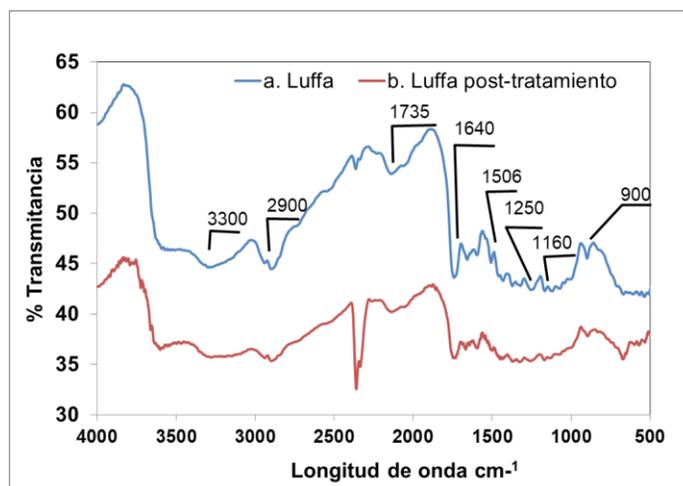


Figura 2. Espectro IR de *Luffa cylindrica* antes y *Luffa cylindrica* después del proceso de adsorción.

De este se resaltan tres bandas, la primera entre 3150 y 3400 cm^{-1} correspondiente a vibración de estiramiento de OH, la segunda a 1640 cm^{-1} asociada al estiramiento del grupo C=O en el anillo aromático y por último en 900 cm^{-1} que puede ser atribuida a vibraciones de estiramiento del grupo C-O. La intensidad de estas tres bandas decrece en el espectro de *Luffa cylindrica* después de la adsorción, fenómeno que se podría atribuir a que estos grupos funcionales tuvieron algún tipo de interacción con los compuestos fenólicos, interacciones que se vieron favorecidas con valores de pH mayores al punto de carga cero del material, por tanto, se constituyen en sitios activo para la retención de dichos contaminantes y otras moléculas orgánicas presentes en las aguas residuales del beneficio de café. Estos resultados coinciden con lo reportado en otros estudios donde se ha usado la *Luffa cylindrica* como material adsorbente (Abdelwahab and Amin, 2013; Arana *et al.*, 2017).

Otros parámetros

Se evaluaron como parámetros fisicoquímicos la turbiedad y el valor de DQO a la muestra antes y después del proceso de adsorción y los resultados se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Comparación de algunas propiedades física del agua residual antes y después del tratamiento.

	Turbiedad (NTU)	DQO $\text{mg O}_2\text{L}^{-1}$
Inicial	619	20341
Final	256	6481

Se aprecia una disminución del orden de 58 % en la turbiedad y 68 % en el valor de DQO, lo que podría atribuirse a que la retención no solo es para compuestos de tipo fenoles, sino además de moléculas orgánicas en general que pudieron haber interactuado con la *Luffa cylindrica*.

CONCLUSIONES

Este estudio permitió establecer que es posible usar la *Luffa cylindrica* para la eliminación de compuestos fenólicos totales en aguas provenientes del beneficio del café, por tanto, este material se constituye en una alternativa renovable, económica, amigable con el medio ambiente y que no requiere ningún tipo de modificación química para el tratamiento de aguas contaminadas con fenoles y otros compuestos derivados del beneficio del café. Adicionalmente, el tratamiento del agua residual con el adsorbente en estudio permitió mejorar otros parámetros de calidad como DQO y turbidez.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se sugiere realizar estudios complementarios donde se evalúen un mayor número de propiedades fisicoquímicas, realizar estudios complementarios del proceso de adsorción donde se incluya como variable la temperatura y así establecer parámetros termodinámicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Santo Tomás por la financiación del proyecto y a la Universidad Libre por su apoyo técnico

REFERENCIAS

- ABDELWAHAB, O.; AMIN, N.K. Adsorption of phenol from aqueous solutions by *Luffa cylindrica* fibers: Kinetics, isotherm and thermodynamic studies. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, v. 39, 2013, p. 215–223.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejar.2013.12.011>
- ARANA, JORGE; GONZÁLES, SEBASTIÁN; NAVARRETE, LUISA; CAICEDO, OBRADITH. *Luffa cylindrica* as a natural adsorbent of cyanide ion in aqueous medium. *DYNA*, v. 84, n. 201, 2017, p. 210-215.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.60070>
- ARRIEL-TORRES, JULIANA; BATISTA-CHAGAS, PRICILA; SILVA, MARIA-CRISTINA; DONIZETE-DOS SANTOS, CUSTODIO; DUARTE-CORREA, ANGELITA. Enzymatic oxidation of phenolic compounds in coffee processing wastewater. *Water Science and Technology*, v. 73, n. 1, 2015, p. 39-50.
<https://doi.org/10.2166/wst.2015.332>
- BAHARLOUEI, ATEFEH; JALILNEJAD, EELHAM; SIROUSAZAR, MOHAMMAD. Fixed-bed column performance of methylene blue biosorption by *Luffa cylindrica*: statistical and mathematical modeling. *Chemical Engineering Communications*, v. 205, n. 11, 2018, p. 1537–1554.
<https://doi.org/10.1080/00986445.2018.1460364>
- BATISTA-CHAGAS, PRICILA; ARIEL-TORRES, JULIANA; SILVA, MARIA-CRISTINA.; DUARTE-CORREA, ANGELITA. Immobilized soybean hull peroxidase for the oxidation of phenolic compounds in coffee processing wastewater. *International Journal. Biological Macromolecules*, v. 81, 2015, p. 568–575.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.08.061>
- BERA, SOUNAK; MOHANTY, KKAUSTUBHA. Areca nut (*Areca catechu*) husks and *Luffa (Luffa cylindrica)* sponge as microbial immobilization matrices for efficient phenol degradation. *Journal of Water Process Engineering*, v. 33, 2020, e 100999.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100999>
- CAICEDO, OBRADITH; DEVIA-RAMIREZ, JENCY; MALAGÓN, ANDRÉS. Adsorption of common laboratory dyes using natural fibers from *Luffa cylindrica*. *Journal of Chemical Education*, v. 95, n. 12), 2018, e 2233.
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00156>
- CASTRO, A.C.C.M.; ODA, F.B.; ALMEIDA-CINCOTTO, M.G.J.; DAVANGO, M.G.; CHIARI-ANDRÉO, B.G.; CICALI, R.M.B.; PECCININI, R.G.; ZOCOLO, G.J.; RIBEIRO, P.R.V.; CORREA, M.A.; ISAAC, V.L.B.; SANTOS A.G. Green coffee seed residue: A sustainable source of antioxidant compounds. *Food Chemistry*, v. 246, 2018, p. 48-57.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.153>
- DE SOUSA-NETO, JOSÉ; OLIVEIRA, J. DE A.N.; SIQUIERA, L.M.C.; ALVES, N. VANESSA. Selective Extraction and Determination of Chromium Concentration Using *Luffa cylindrica* Fibers as Sorbent and Detection by FAAS. *Hindawi Journal of Chemistry*, v.1679419, 2019, ID 1679419, e. 6.
<https://doi.org/10.1155/2019/1679419>
- DEMIR, HASAN; DEVECI, MERYEM-ARZU. Comparison of Ultrasound and Conventional Technique for Removal of Methyl Orange by *Luffa Cylindrica* Fibers. *Arabian Journal for Science and Engineering*, v. 43, 2018, p. 5881-5889.
<https://doi.org/10.1007/s13369-017-3050-9>
- FERNANDES, A.S.; MELLO, F.V.C.; THODE-FILHO, S.; CARPES, R.M.; HONÓRIO, J.G.; MARQUES, M.R.C.; FELZENSZWALB, I.; FERRAZ, E.R.A. Impacts of discarded coffee waste on human and environmental health. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.141, 2017, p. 30-36.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.011>
- JANISSEN, BRENDAN; HUYNH, TIEN. Chemical composition and value-adding applications of coffee industry byproducts: A review. *Resources, Conservation & Recycling*, v.128, 2018, p.110–117.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.001>
- LIATSOU, IOANNA; CONSTANTINO, PANAYIOTA; PASHALIDIS, IOANNIS. Copper Binding by Activated Biochar Fibres Derived from *Luffa cylindrica*. *Water Air Soil Pollut*, v. 228, n. 255, 2017, p. 1-7.
<https://doi.org/10.1007/s11270-017-3411-8>

- LIATSOU, IOANNA; PASHALIDISA, IOANNIS; DOSCHEB, CCARSTEN. Cu(II) adsorption on 2-thiouracil-modified *Luffa cylindrica* biochar fibres from artificial and real samples, and competition reactions with U(VI). *Journal of Hazardous Materials*, v. 383, 2020, e 120950.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120950>
- LIU, QING-SONG; ZHENG, TONG; WANG, PENG; JIANG, JI-PING; LI, NAN. Adsorption isotherm, kinetic and mechanism studies of some substituted phenols on activated carbon fibers. *Chemical Engineering Journal*, v. 157, n. 2–3, 2010, p. 348–356.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.11.013>
- MIRÓN-MÉRIDA, VICENTE; YAÑEZ-FERNANDEZ, JORGE; MONTAÑEZ-BARRAGAN, BRENDA; BARRAGÁN-HUERTAS, BLANCA. Valorization of coffee parchment waste (*Coffea arabica*) a source of caffeine and phenolic compounds in antifungal gellan gum films. *LWT - Food Science and Technology*, v. 101, 2018, p. 167–174.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.013>
- MOHAMMADI, SAYED-ZIA; DARIJANI, ZAHRA; KARIMI-MOHAMMAD, ALI. Fast and efficient removal of phenol by magnetic activated carbon cobalt nanoparticles. *Journal of Alloys and compounds*, v. 832, 2020, e 154942.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.154942>
- PERALTA, YURY; SANABRIA, NANCY; CARRIAZO, JOSÉ; MORENO, SONIA; MOLINA, RAFAEL. Catalytic wet hydrogen peroxide oxidation of phenolic compound in coffee wastesater using Al-Fe- pillared clay extrudates. *Desalination and Water Treatment*, v. 55, n. 3, 2015, p. 647-654.
<https://doi.org/10.1080/19443994.2014.920279>
- RIBEIRO-LACERDA, M.F.A.; MARQUES-LOPEZ, FLAVIO; SARTORATTO, ADILSON; NUNES, PONEZI-ALEXANDRE; VIEIRA-THOMAZ, DOUGLAS; SCHIMIDT, FERNANDO; FONTES-SANTIAGO, MARIANGELA. Stability of immobilized *laccase* on *Luffa Cylindrica* fibers and assessment of synthetic hormone degradation. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, v. 49, n. 1, 2018, p. 58–63.
<https://doi.org/10.1080/10826068.2018.1525568>
- RODRIGUEZ-PÉREZ, SILVIA; PEREZ-SILVA, ROSA; FERNÁNDEZ-BOIZÁN, MAIKEL. Estudio de la biodegradabilidad anaerobia de las aguas residuales del beneficio húmedo del café. *Interciencia*, v. 25, n. 8, 2000, p. 386-390.
- SÁNCHEZ-GÓMEZ, CARLOS; SUAZA-MONTALVO, ANDREA; CARO-PARRADO, MIGUEL; SANCHEZ-SAENZ, CAROLINA. Phenolic content analysis of coffee leaves subjected to HTST and convective drying. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, v. 21, n. 1, 2018, p.81-88.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.665>
- SANZ, J.R.; RAMÍREZ, C.A.; OLIVEROS, C.E. Evaluación del impacto ambiental de una central comunitaria para el beneficio de café utilizando la tecnología ecomill. *Cenicafé*, v. 70, n. 1, 2019, p. 18-29.