



Biofiltración de aguas residuales de industrias arroceras de San Jacinto de Yaguachi, Ecuador mediante cascarilla de arroz

Biofiltration of wastewater from rice industries in San Jacinto de Yaguachi, Ecuador using rice husks

Biofiltração de águas residuais de indústrias de arroz em San Jacinto de Yaguachi, Equador usando casca de arroz

Xavier Andrés Iturralde Jácome / Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador / iturralde-xavier1475@unesum.edu.ec

Arturo Andrés Hernández Escobar / Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador / aharturohdez10@gmail.com

Recibido: 29/04/2022

Aceptado: 15/09/2022

Publicado: 07/10/2022

RESUMEN

Se estima que en el mundo más del 80% de las aguas residuales generadas por actividades antropogénicas son vertidas de manera directa al ambiente. La descarga de estas aguas es una problemática todavía sin resolver en las ciudades, y por ello se requieren de tecnologías económicas a implementarse a nivel doméstico. Ante esta problemática, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un biofiltro utilizando sustratos de carbón activado y ceniza (producidos a partir de cascarilla de arroz) para el tratamiento de aguas residuales domésticas. La activación de los sustratos se llevó a cabo mediante procesos fisicoquímicos a temperaturas de 450°C y con el uso de ácido fosfórico. Como resultado de la biofiltración del agua residual, la ceniza permitió una *remoción de color* verdadero (Pt-Co) de hasta 99%. El carbón activado redujo la *turbidez* hasta un 95.3%; mientras que el contenido de *sólidos totales* no fue prácticamente disminuido por ninguno de los sustratos. La presente investigación se vincula con la economía circular dado el uso de un residuo de producción como es la cáscara de arroz.

Palabras clave: carbonización, carbón activado, contaminación ambiental, economía circular, eutrofización, sólidos totales

ABSTRACT

It is estimated that in the world more than 80% of wastewater generated by anthropogenic activities is discharged directly into the environment. The discharge of these waters is a problem still unresolved in cities, and therefore economic technologies are required to be implemented at the domestic level. Given this problem, the present work aimed to evaluate the efficiency of a biofilter using activated carbon and ash substrates (produced from rice husks) for the treatment of domestic wastewater. The activation of the substrates was carried out by means of physicochemical processes at temperatures of 450°C and with the use of phosphoric acid. As a result of the biofiltration of the wastewater, the ash allowed a true color (Pt-Co) removal of up to 99%. Activated carbon reduced turbidity up to 95.3%; while the content of total solids was practically not decreased by any of the substrates. This research is linked to the circular economy given the use of a production residue such as rice husk.

Keywords: activated carbon, carbonization, circular economy, environmental pollution, eutrophication, total solids

RESUMO

Estima-se que no mundo mais de 80% dos efluentes gerados por atividades antrópicas são despejados diretamente no meio ambiente. A descarga dessas águas é um problema ainda não resolvido nas cidades e, portanto, tecnologias econômicas são necessárias para serem implementadas em nível doméstico. Diante desse problema, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de um biofiltro utilizando substratos de carvão ativado e cinzas (produzidas a partir de casca de arroz) para o tratamento de efluentes domésticos. A ativação dos substratos foi realizada por meio de processos físico-químicos a temperaturas de 450°C e com o uso de ácido fosfórico. Como resultado da biofiltração do efluente, as cinzas permitiram uma remoção de cor verdadeira (Pt-Co) de até 99%. O carvão ativado reduziu a turbidez em até 95.3%; enquanto o teor de sólidos totais praticamente não foi diminuído por nenhum dos substratos. Esta pesquisa está ligada à economia circular dada a utilização de um resíduo de produção como a casca de arroz.

Palavras chave: carbonização, carvão ativado, economia circular, eutrofização, poluição ambiental, sólidos totais

INTRODUCCIÓN

El cambio climático y la contaminación del agua generarán, según datos de Naciones Unidas, una escasez de agua que afectará a 1 800 millones de personas en 2030 y una mayor cantidad de especies acuáticas se encontrarán en riesgo de extinción. Desde

1970 han desaparecido el 84% de las especies acuáticas, principalmente a causa de la contaminación del agua (United Nations-Water, 2022). Los asentamientos humanos, las industrias y la agricultura son las principales fuentes de contaminación del

agua. Los sistemas agrícolas se han expandido e intensificado en función del aumento de la demanda de alimentos; con este crecimiento se produce un uso excesivo de agroquímicos y agua, generando altas cargas de contaminación en el ambiente (Mateo-Sagasta *et al.*, 2017).

La intensificación de la agricultura (incluida la ganadería) genera un consumo de agua, el cual representa un 75% del total mundial; la industria consume el 20% y el 5% restante es agua para consumo doméstico (United Nations-Water, 2022). Producto a ello, se genera un 80% de aguas residuales sin un respectivo tratamiento (Banco Mundial, 2020). Consecuentemente, dos mil millones de personas utilizan una fuente contaminada con heces, lo que provoca enfermedades como hepatitis, cólera, disentería, fiebre tifoidea y polio (Goddard *et al.*, 2020). A estas descargas sin ningún tratamiento, se suma el sector agropecuario porque las granjas descargan grandes cantidades de agroquímicos, materia orgánica fecal, residuos de medicamentos, sedimentos y drenaje salino a los cuerpos de agua, lo cual genera eutrofización, una de las principales causas del deterioro de los recursos hídricos superficiales (Abbott *et al.*, 2019; Walker *et al.*, 2019; Wurtsbaugh *et al.*, 2019).

Para atenuar la contaminación generada por el agua residual, una alternativa se basa en el uso de carbón activado. Este material es utilizado en procesos de filtración para la adsorción de contaminantes disueltos y suspendidos; es una alternativa efectiva y de bajo costo para reducir la carga de materia

orgánica y también para mejorar las características fisicoquímicas del agua (Menya *et al.*, 2020). El carbón activado a partir de cascarilla de arroz se ha utilizado ampliamente para eliminar metales tóxicos como el cromo y plaguicidas como atrazina (Ajmal *et al.*, 2003; N'Diaye *et al.*, 2019; Khalil *et al.*, 2021; Ataguba y Brink, 2021). Además, el carbón activado es un material que presenta estabilidad térmica y tiene aplicaciones en la adsorción de contaminantes, producción de electrodos y supercondensadores, así como catalizador para sistemas de almacenamiento de energía (Alam *et al.*, 2020).

En Ecuador, el arroz ocupa el tercer lugar en producción, con un total de 1 504 214 t cosechadas en el año 2021, de las cuales un 20% de la masa total corresponde a la cascarilla (Corporación Financiera Nacional, 2021; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2016). La cascarilla de arroz es un desecho agrícola con alto contenido de lignocelulosa (85%) y cenizas (15% en sílice, óxido de calcio, óxido de magnesio, óxido de potasio y otros componentes); esto representa un potencial de aprovechamiento. Por tanto, el carbón activado obtenido a partir de cascarilla de arroz se utiliza como material adsorbente debido a su estructura altamente porosa y su gran área superficial (Masoud *et al.*, 2016).

En base a los antecedentes expuestos, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un biofiltro utilizando sustratos de carbón activado y ceniza (ambos materiales producidos a partir de cascarilla de arroz) para el tratamiento de

aguas residuales domésticas. En cuanto a los aportes, es de destacar la implementación de un proceso de obtención de carbón activado mediante una activación fisicoquímica, a partir de cascarilla de arroz procedente de San Jacinto de Yaguachi. La presente investigación constituye una alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para producir carbón activado a escala de laboratorio, se tomaron muestras de 5000 gr de cascarilla de arroz de tres piladoras ubicadas en las siguientes coordenadas geográficas: Johanny (1°06'00.4"S y 80°41'25.7"W), María (1°05'38.7"S y 80°41'58.8"W) y Del Pozo (1°05'45.8"S y 80°42'12.9"W). Las mencionadas empresas están ubicadas en San Jacinto de Yaguachi, provincia de Guayas, Ecuador. En las tres piladoras, se procesa arroz de la variedad INIAP-FL-01. Por otro lado, de cada piladora se obtuvo una muestra de agua residual de tipo doméstico de 50 L para las pruebas de biofiltración y análisis fisicoquímicos; cada muestra provino de la cocina de las piladoras estudiadas.

Carbón activado de cascarilla de arroz

Para la preparación del carbón activado se procedió a una activación física de la cascarilla de arroz a 450°C (ThermoFisher, Lindberg). Para el lavado de impurezas se utilizaron 8 L de agua destilada por cada 300 gr de cascarilla de arroz. Luego del lavado, se secó la muestra de cascarilla para eliminar residuos a 120°C durante una hora. Pasado este proceso térmico, mediante una rampa de 5°C/min, se llevó a cabo la carbonización a una temperatura de

450°C durante una hora, con el fin de obtener el carbón activado (Le Van y Luong, 2014).

Una vez obtenida la carbonización de la cascarilla de arroz se lavó con agua destilada para eliminar cenizas. Estas cenizas fueron posteriormente secadas a 120°C y utilizadas como sustrato en los respectivos tratamientos con agua residual. Con el carbón se procedió a la activación química durante 2 horas, mediante la adición de 500 mL de ácido fosfórico con un 89% de pureza por cada 300 gr de carbón (Luo *et al.*, 2019). La respectiva muestra se pasó por un colador de plástico y se llevó al horno para secarla a una temperatura de 120°C durante una hora. Nuevamente, mediante una rampa de 5°C/min, se procedió a una segunda carbonización a 450°C durante otra hora más.

Caracterización fisicoquímica del agua

Para la caracterización del agua se tomaron muestras puntuales mediante las directrices de la Norma Técnica Ecuatoriana No. 2169 sobre muestreo y conservación de muestras (Instituto Nacional de Normalización, 1998). El agua se caracterizó en base a *sólidos totales*, *turbidez* y *color*, teniendo en cuenta la norma estándar de American Public Health Association (2018).

La *turbidez* en el agua fue medida con un instrumento *Hanna HI-93703* y expresada en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Para la medición del *potencial de hidrógeno* (pH) se tomaron 100 ml de muestra de agua. El pH fue determinado en un dispositivo portátil de marca *Omega (PHH-103B)*. El color verdadero fue medido en unidades de Platino-Cobalto (Pt-Co) con un espectrofotómetro *UV-VIS*

Hanna HI801. La determinación de *sólidos totales* se llevó a cabo tomando como referencia la normativa ASTM-D5907 (American Society for Testing and Materials, 2018). Según esta norma, 100 ml de muestra de agua se colocan en una cápsula de porcelana y luego se seca a 105°C en una estufa, modelo *Memmert UFE-500*, durante 5 horas. Los *sólidos totales* se expresaron en mg/L.

Proceso de biofiltración

En la *tabla 1* se presentan los tratamientos realizados en tres unidades experimentales independientes. En el tratamiento T1 se trabajó con dosis de ceniza de cascarilla de arroz sin

activar de 300 g. Para los tratamientos T2 y T3 se utilizó carbón activado producido a partir de cascarilla de las piladoras estudiadas. En T2 se utilizaron 300 g de carbón activado, mientras que en T3 se utilizaron 200 g del mencionado material. Se aplicó un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones.

Para la operación del biofiltro se utilizó un reservorio de 5 L de agua residual, los cuales fueron succionados con una bomba centrífuga de 0.25 Hp y recirculados a las carcassas de filtración (1 pulgada de diámetro, 50 cm de altura y material de PVC). El tiempo total de la operación, incluyendo la recirculación, fue de 2 horas.

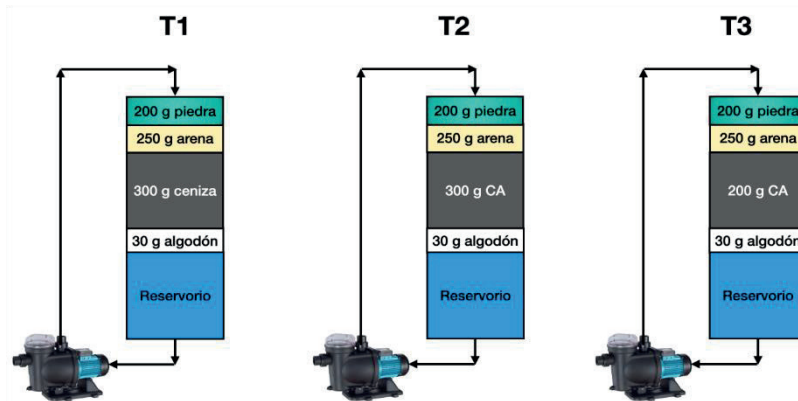
Tabla 1. *Tratamientos utilizando dos sustratos: ceniza y carbón activado.*

Códigos	Tratamientos	Piladora Johnny	Piladora La María	Piladora del Pozo
T1	Biofiltro + Ceniza de cascarilla de arroz	300 g	300 g	300 g
T2	Biofiltro + Carbón activado	300 g	300 g	300 g
T3	Biofiltro + Carbón activado	200 g	200 g	200 g

Fuente: Elaboración propia.

En todos los tratamientos, como lechos de soporte, se utilizaron 200 g de piedra grava, 250 g de arena y 30 g de algodón (*figura 1*).

Figura 1. *Configuración de biofiltros en función del diseño experimental.*



Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

En la *tabla 2* se resumen los parámetros del agua residual doméstica de las tres piladoras objeto de estudio.

Tabla 2. *Parámetros del agua residual en las diferentes piladoras.*

Piladoras	Parámetros			
	pH	Color (Pt-Co)	ST (mg/L)	Turbidez (NTU)
Del Pozo	7.22	547	110.44	99.99
María	5.72	550	145.54	99.99
Johanny	6.65	363	102.81	80.08

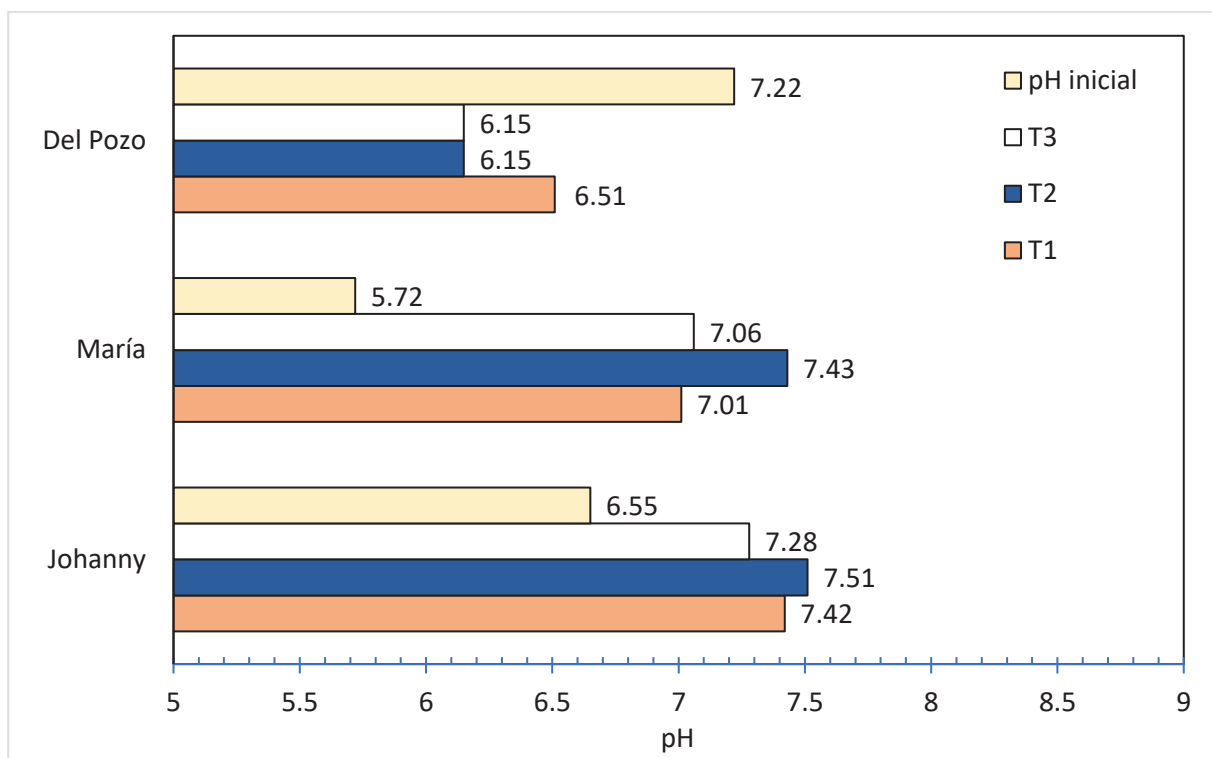
Nota: ST: sólidos totales

Fuente: Elaboración propia.

El pH inicial del agua residual de la piladora Del Pozo, luego de la biofiltración, disminuyó de 7.22 a 6.51 en T1 mediante el uso de ceniza; y hasta un pH de 6.15 en tratamientos con carbón activado T2 (300 g) y T3 (200 g). En

la piladora María el pH del agua residual aumentó de 5.72 a 7.01 para T1, 7.43 para T2 y 7.06 para T3. En la piladora Johanny, luego de la biofiltración, el pH también aumentó ligeramente de 6.65 a 7 (figura 2).

Figura 2. *Efecto de la biofiltración en el pH para el tratamiento de agua residual en tres piladoras.*

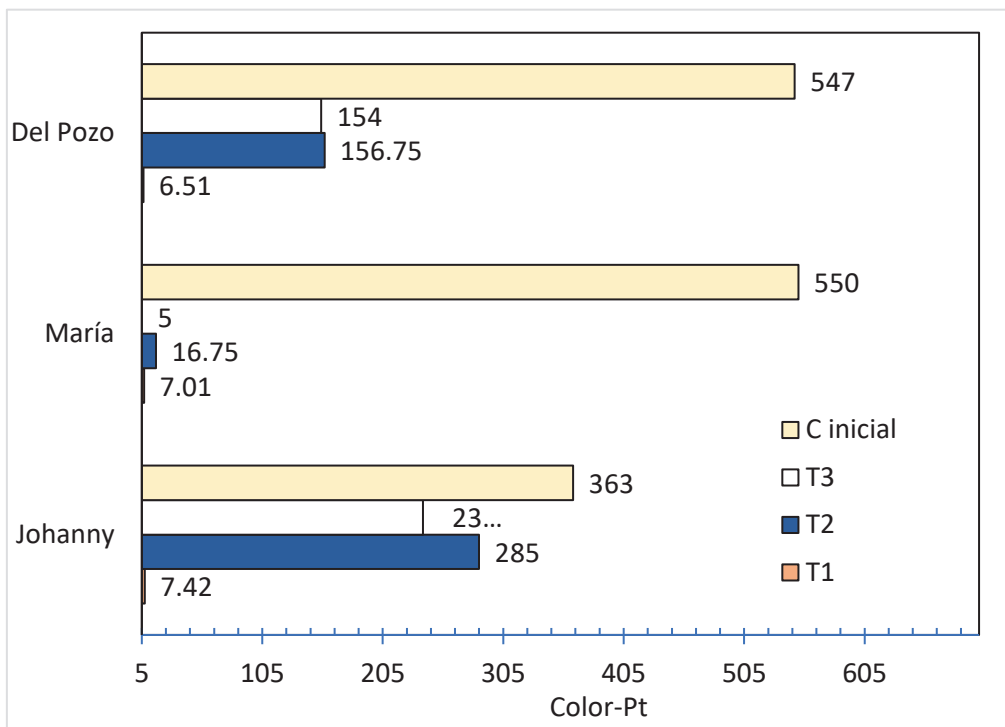


Fuente: Elaboración propia.

En la *figura 3* se presentan los valores de color verdadero, expresados en unidades mg/L Pt-Co. La *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes* (Ministerio del Ambiente, 2015) establece que para aguas superficiales el color real o verdadero debe estar cercano a 20 Pt-Co. Según los resultados obtenidos, el agua residual doméstica de cada una de las tres piladoras presentó una coloración aproximadamente 27 veces por encima del máximo permisible según la norma ecuatoriana referida anteriormente. El color del agua residual de la piladora Del Pozo (C inicial) disminuyó de 547 a 6.51

mg/L Pt-Co en el tratamiento T1. En los tratamientos T2 y T3, disminuyó a valores entre 156.75 y 154 mg/L Pt-Co. Para el agua residual de la piladora María el color mejoró, pues la ceniza en T1 redujo el color de 550 a 7.01 mg/L Pt-Co. Con el uso del carbón activado se redujo a 16.75 mg/L Pt-Co en T2; y a 5 mg/L Pt-Co en T3. Para el agua residual de la piladora Johnny la ceniza del tratamiento T1 permitió la reducción de color de 363 a 7.42 mg/L Pt-Co; en cambio la biofiltración en T2 decoloró ligeramente de 363 a 285 mg/L Pt-Co y en T3 hasta 238.5 mg/L Pt-Co.

Figura 3. Efecto de la biofiltración en el color para el tratamiento de agua residual en tres piladoras.



Fuente: Elaboración propia.

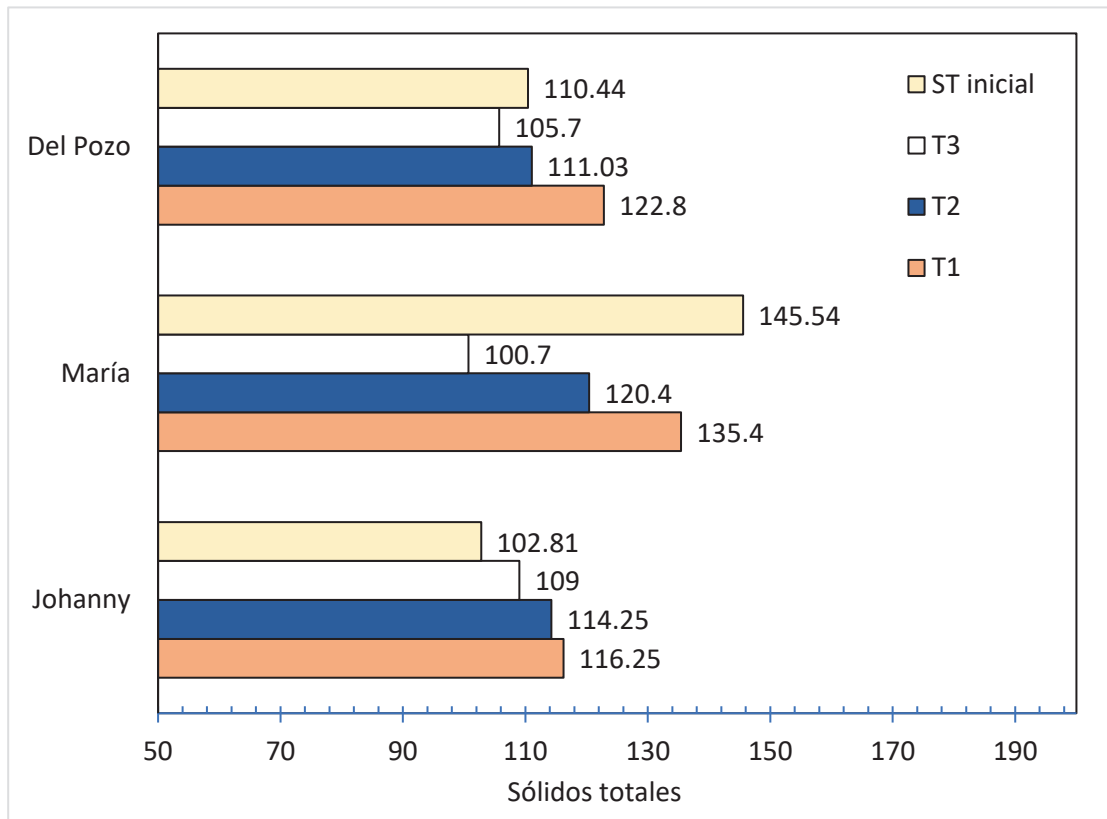
En la *figura 4* se presentan los resultados de la remoción de sólidos totales en mg/L del agua residual (ST inicial). En la piladora Del Pozo, luego del proceso de biofiltración con ceniza de cascarilla, los sólidos totales del

agua residual aumentaron en el tratamiento T1 de 110.44 a 122.8 mg/L. En el tratamiento con carbón activado T2 los sólidos aumentaron de 110.44 a 111.03 mg/L; mientras que en el T3 se logró una ligera reducción de

110.44 a 105.7 mg/L. En la piladora María el tratamiento con ceniza T1 redujo los sólidos totales de 145.54 a 135.4 mg/L; en T2 de 145.54 a 120.4 mg/L y en T3 de 145.54 a

100.70 mg/L. En la piladora Johanny ninguno de los tratamientos fue capaz de reducir los sólidos totales.

Figura 4. Efecto de la biofiltración en sólidos totales para el tratamiento de agua residual en tres piladoras.

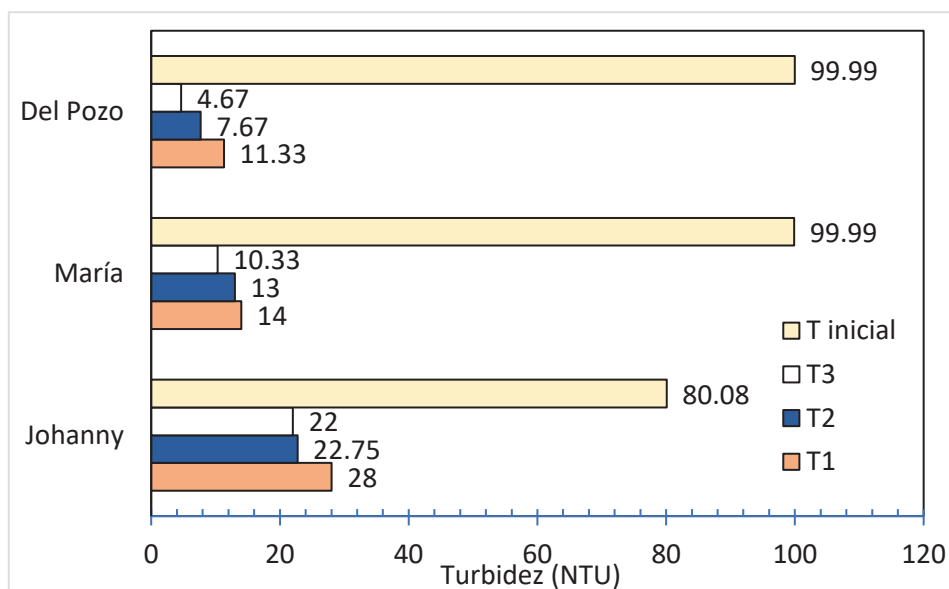


Fuente: Elaboración propia.

En la *figura 5* la disminución de turbidez (NTU) fue notoria en todos los tratamientos. En la piladora Del Pozo la turbidez inicial del agua residual (T inicial) disminuyó en T1 de 99.99 a 11.33 NTU; en T2 la turbidez se redujo a 7.67 NTU y en T3 a 4.67 NTU. Para la piladora María la reducción de turbidez fue menor que en la piladora Del Pozo; donde la

turbidez se redujo de 99.9 a 14 NTU en tratamiento T1. Por su parte, en T2 se redujo la turbidez a 13 NTU y en el tratamiento T3 la remoción fue hasta 10.33 NTU. Por su parte en la piladora Johanny la turbidez del agua residual disminuyó en T1 de 80.08 a 28 NTU, en T2 hasta 22.75 NTU y en T3 hasta 22 NTU.

Figura 5. Efecto de la biofiltración en la turbidez, para el tratamiento de agua en tres piladoras.



Fuente: Elaboración propia.

El ANOVA de un factor (*Microsoft-Excel*) demuestra que para un valor de $p < 0.01$ se obtuvo una diferencia significativa entre los trata-

mientos aplicados en comparación con el agua residual doméstica para las variables *color* y *turbidez*, como se indica en las *tablas 3* y *4*.

Tabla 3. Análisis de varianza para el factor pH.

Fuente de variación	SS	df	MS	F	Probabilidad	F crit
Entre grupos	4.96	3	1.65	2	$1.2 \cdot 10^{-1}$	2.90
Dentro de los grupos	26.04	32	0.81			
Total	31.00	35				

Nota: *SS*: suma de cuadrados; *df*: grados de libertad; *MS*: cuadrado medio; *F* y *F crit*: estadísticos para contraste de hipótesis.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Análisis de varianza para el factor color.

Fuente de variación	SS	df	MS	F	Probabilidad	F crit
Entre grupos	657 212.10	3	219 070.72	10.03	$8.21 \cdot 10^{-5}$	2.90
Dentro de los grupos	698 902.09	32	21 840.68			
Total	1 356 114.19	35				

Nota: *SS*: suma de cuadrados; *df*: grados de libertad; *MS*: cuadrado medio; *F* y *F crit*: estadísticos para contraste de hipótesis.

Fuente: Elaboración propia.

En contraste, para las variables *sólidos totales* y *pH*, el ANOVA de un factor demostró que, para un valor de $p > 0.01$ no se obtuvo una diferencia significativa entre los tratamientos aplicados en comparación con el agua residual doméstica. En el presente caso el proceso de biofiltración no tendió a generar un cambio sustancial en el *pH* del agua, dada la natura-

leza de adsorción física y reacción bioquímica de degradación sin generación de iones hidrógeno. En el tratamiento con 200 gr de carbón activado la piladora María fue el más efectivo para remover *sólidos totales*; mientras que en las otras piladoras y tratamientos no hubo una remoción. Por esta razón se obtuvo un valor de $p > 0.01$.

Tabla 5. Análisis de varianza para el factor *sólidos totales*.

Fuente de variación	SS	df	MS	F	Probabilidad	F crit
Entre grupos	21 536.26	3	7178.75	3.29	$3.0 \cdot 10^{-2}$	2.90
Dentro de los grupos	69 790.18	32	2180.94			
Total	91 326.44	35				

Nota: *SS*: suma de cuadrados; *df*: grados de libertad; *MS*: cuadrado medio; *F* y *F crit*: estadísticos para contraste de hipótesis.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Análisis de varianza para el factor *turbidez*.

Fuente de variación	SS	df	MS	F	Probabilidad	F crit
Entre grupos	13 896.84	3	4632.28	53.20	$1.0 \cdot 10^{-5}$	4.07
Dentro de los grupos	696.57	8	87.07			
Total	14 593.41	11				

Nota: *SS*: suma de cuadrados; *df*: grados de libertad; *MS*: cuadrado medio; *F* y *F crit*: estadísticos para contraste de hipótesis.

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Los resultados luego de la biofiltración fueron comparados con la calidad inicial del agua residual doméstica de cada piladora. En la piladora Del Pozo el *pH* del agua residual cambió a niveles ácidos, luego de utilizar ceniza de cascarilla o carbón activado. En contraste, en la piladora María el *pH* del agua residual cambió a niveles neutros luego de la biofiltración con ceniza o carbón activado a diferentes cantidades. En la piladora Johanny, luego de la biofiltración, el *pH* cambió a niveles alcalinos, así mismo con los diferentes materiales y cantidades. La biofiltración tuvo un efecto en el *pH* final del agua tratada debido al tipo de adsorbente (ceniza o

carbón activado) y cantidad (200 y 300 g). Esta tendencia se atribuye a la mayor disposición de los sitios de adsorción y su área superficial debido al aumento de la cantidad de material adsorbente (Menya *et al.*, 2020). En el caso de la ceniza, esta contiene principalmente sílice y por tanto ocurre una reacción de intercambio iónico con el agua residual mediante sustitución de protones de grupos silanol presentes en la superficie del adsorbente de ceniza (Masoud *et al.*, 2016).

El color del agua residual de la piladora Del Pozo disminuyó significativamente en un 98.8% en el tratamiento con ceniza de cascarilla (T1); mientras que, en los tratamientos T2 y

T3 la disminución ocurrió un 71.3 y 71.8% respectivamente. La piladora María en T1 redujo el color en un 98.7%; 97% en T2 y 99% en T3. Para el agua residual de la piladora Johanny la ceniza del tratamiento T1 permitió la reducción de color en un 97.9%, en T2 se decoloró un 21.5% y en T3 un 34.3%. Según otros estudios, el incremento de la cantidad de carbón activado induce al incremento de color en la biofiltración, en concordancia con los resultados expuestos (Zahid *et al.*, 2016).

La caracterización de carbón activado a partir de cascarilla de arroz indica la formación de una estructura altamente porosa con un área superficial de hasta $2681 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ y presencia de grupos funcionales como carboxilos y silanoles que promueven la adsorción (Li y Xiao, 2019). Dadas estas características, los grupos polares de la superficie del material adsorbente promueve afinidad por contaminantes con esta característica polar (Ahmaruzzaman y Gupta, 2011).

En la piladora Del Pozo, luego del proceso T1 con ceniza, los *sólidos totales* del agua residual aumentaron, ocurriendo lo mismo en el tratamiento con carbón activado T2. Por su parte en T3 hubo una reducción de sólidos totales de 4.10%. En la piladora María el T1 redujo *sólidos totales* un 6.50%, en T2 17.27% y en T3, 30.8%. En la piladora Johanny ninguno de los tratamientos fue capaz de reducir *sólidos totales*. El estudio de Zahid *et al.* (2016) también presentó el mismo fenómeno de aumento de sólidos totales.

En la piladora Del Pozo la *turbidez* del agua residual disminuyó un 88.70%, en T2 92.3% y

en T3 95.30%. En la piladora María la reducción de turbidez fue menor que en la piladora Del Pozo, donde se redujo un 86% para los tratamientos T1 y T2; mientras que en el T3 un 89.7%. En la piladora Johanny la *turbidez* del agua residual disminuyó 65% en el tratamiento T1, 71.60% en T2 y 72.5% en T3. Los resultados de *reducción de color y turbidez* de biofiltración obtenidos en esta investigación concuerdan con los obtenidos por Adams y Mulaba-Bafubiandi (2014), Menya *et al.* (2020) y Zahid *et al.* (2016).

Como se espera para un sistema de adsorción de sólidos suspendidos, el carbón activado no logró un nivel de reducción significativo en el contenido de sólidos totales. Por tanto, es necesario aplicar tratamientos primarios o secundarios para remover sustancias biodegradables responsables de sólidos totales.

CONCLUSIONES

Se utilizaron dos sustratos para la biofiltración de agua residual doméstica: ceniza de cascarilla de arroz y carbón activado obtenido de la misma cascarilla de arroz. El *pH* ácido del agua residual fue neutralizado con ambos materiales adsorbentes debido a la disponibilidad de grupos funcionales, en beneficio de la calidad final. Con respecto a la capacidad de adsorción, se obtuvo mayor efectividad en la *remoción de color y turbidez* para ambos materiales adsorbentes. La ceniza al tener menos material particulado se destacó para la remoción del color, mientras que el carbón activado removió *turbidez* de manera óptima dada su alta porosidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, F. V. y Mulaba-Bafubiandi, A. F. (2014). Application of rice hull ash for turbidity removal from water. *Physics and Chemistry of the Earth*, 72–75, 73–76. <https://doi.org/h92z>
- Ahmaruzzaman, M. y Gupta, V. K. (2011). Rice husk and its ash as low-cost adsorbents in water and wastewater treatment. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(24), 13589–13613. <https://doi.org/crh3wb>
- Ajmal, M., Rao, A. K. R., Anwar, S., Ahmad, J. y Ahmad, R. (2003). Adsorption studies on rice husk: removal and recovery of Cd (II) from wastewater. *Bioresource Technology*, 86(2), 147–149. <https://doi.org/dhptpz>
- Alam, M., Hossain, A., Hossain, D., Johir, M. A. H., Hossen, J., Rahman, S., Zhou, J. L., Hasan, A. T. M. K., Karmakar, A. K. y Ahmed, M. B. (2020). The potentiality of rice husk-derived activated carbon: from synthesis to application. *Processes*, 8(2), 203. <https://doi.org/h925>
- American Society for Testing and Materials. (2018). *Standard Test Methods for Filterable Matter (Total Dissolved Solids) and Nonfilterable Matter (Total Suspended Solids) in Water*. ASTM International
- Ataguba, C. O. y Brink, I. (2021). Design and construction of laboratory-scale activated carbon, gravel, and rice husk filter columns for the treatment of stormwater runoff from automobile workshops. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 63(1). <https://doi.org/h95w>
- Banco Mundial. (19 de marzo de 2020). *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial* [Comunicado de prensa]. <https://bit.ly/3AFHXXn>
- Corporación Financiera Nacional. (2021). *Agricultura e industria manufacturera. Cultivo de arroz. Ficha Sectorial Arroz*. <https://bit.ly/3Q9VDiX>
- Goddard, F. G. B., Pickering, A. J., Ercumen, A., Brown, J., Chang, H. H. y Clasen, T. (2020). Faecal contamination of the environment and child health: a systematic review and individual participant data meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*, 4(9), e405–e415. <https://doi.org/h957>
- Instituto Nacional de Normalización. (1998). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras* (1ª ed.). <https://bit.ly/3BiWjNn>

- Khalil, U., Shakoor, M. B., Ali, S., Ahmad, S. R., Rizwan, M., Alsahli, A. A. y Alyemeni, M. N. (2021). Selective removal of hexavalent chromium from wastewater by rice husk: Kinetic, isotherm and spectroscopic investigation. *Water*, 13(3), 263. <https://doi.org/h96b>
- Le Van, K. y Luong, T. T. (2014). Activated carbon derived from rice husk by NaOH activation and its application in supercapacitor. *Progress in Natural Science: Materials International*, 24(3), 191–198. <https://doi.org/ggqm7r>
- Li, M. y Xiao, R. (2019). Preparation of a dual pore structure activated carbon from rice husk char as an adsorbent for CO₂ capture. *Fuel Processing Technology*, 186, 35–39. <https://doi.org/h96d>
- Luo, Y., Li, D., Chen, Y., Sun, X., Cao, Q. y Liu, X. (2019). The performance of phosphoric acid in the preparation of activated carbon-containing phosphorus species from rice husk residue. *Journal of Materials Science*, 54, 5008–5021. <https://doi.org/gp4n7d>
- Masoud, M. S., El-Saraf, W. M., Abdel- Halim, A. M., Ali, A. E., Mohamed, E. A. y Hasan, H. M. I. (2016). Rice husk and activated carbon for wastewater treatment of El-Mex Bay, Alexandria Coast, Egypt. *Arabian Journal of Chemistry*, 9(2), S1590–S1596. <https://doi.org/h96w>
- Mateo-Sagasta, J., Marjani-Zadeh, S., Turrall, H. y Burke, J. (2017). Water pollution from agriculture: A global review. Food and Agriculture Organization of the United Nations/International Water Management Institute. <https://bit.ly/3clqlwx>
- Menya, E., Olupot, P. W, Storz, H., Lubwama, M. y Kiros, Y. (2020). Synthesis and evaluation of activated carbon from rice husks for removal of humic acid from water. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12, 3229–3248. <https://doi.org/gjg9dm>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. <https://bit.ly/3LIM9jj>
- N'Diaye, A. D., Boudokhane, C., Kankou, M. y Dhaouadi, H. (2019). Potential of rice husk ash in atrazine removal. *Chemistry and Ecology*, 35(7), 678–692. <https://doi.org/h96z>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Seguimiento del mercado del arroz de la FAO* (Vol. XIX) <https://bit.ly/3Qfu0oC>
- United Nations-Water. (2022). *UN World Water Development Report. United Nations. World Water Development Report 2022*. <https://bit.ly/3BxxJKb>

- Walker, D. B., Baumgartner, D. J., Gerba, C. P. y Fitzsimmons, K. (2019). Surface water pollution. In M. Brusseau, I. Pepper, Ch. Gerba (Eds.), *Environmental and pollution science* (pp. 261–292). Elsevier. <https://doi.org/h967>
- Wurtsbaugh, W. A., Paerl, H. W. y Dodds, W. K. (2019). Nutrients, eutrophication, and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(5). <https://doi.org/ghwt7s>
- Zahid, I., Hussain, S., Malghani, N., Naeem, Z., Amin, M., Mushtaq, F. y Anwer, A. (2016). Municipal wastewater treatment using rice husk and kikar charcoal as activated carbon. *International Research Symposium on Engineering Advancements, 2016*. <https://bit.ly/3KIEuvG>