

# Tratamiento de agua residual de beneficio de café mediante un biofiltro de bajo costo



## Colaboración

Iriana Hernández Martínez; Cristian Aldair Santiago Segura; Raúl Alejandro Limón Hernández; Verónica López Hernández; Fidel Alejandro Aguilar Aguilar, Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora

Fecha de recepción: 08 de octubre de 2020

Fecha de aceptación: 11 de marzo del 2021

**RESUMEN:** El proceso industrial de beneficio de café genera una gran cantidad de agua residual con una alta concentración de contaminantes orgánicos. En caso de ser vertida sin tratamiento previo causa un impacto ambiental negativo debido a sus propiedades fisicoquímicas. En el presente trabajo se plantea como alternativa de tratamiento la implementación de biofiltros empacados de dos fases, la primera con piedra pómez que contengan biopelículas de *Saccharomyces cerevisiae* en su superficie porosa y la segunda con biocarbón. Se realizó una experimentación con un diseño factorial 22 donde los factores fueron el tiempo de formación de la biopelícula (24 h y 48 h) y el biocarbón (presente y ausente), incluyendo dos controles (piedra pómez con biocarbón sin biopelícula y piedra pómez sin biopelícula), el proceso se llevó a cabo durante 7 días. Los resultados mostraron que el mejor tratamiento fue el biofiltro que contenía biopelículas con un tiempo de maduración de 48 h. y biocarbón como empaque, obteniendo un porcentaje de remoción de hasta el 100% de la carga orgánica inicial.

**PALABRAS CLAVE:** Agua residual, Biopelícula, *Saccharomyces cerevisiae*, Biocarbón, Biofiltro.

**ABSTRACT:** Industrial coffee processing produces a large amount of wastewater which has a high concentration of organic pollutants. If the water is poured into rivers without a treatment, it causes a negative environmental impact due to its physicochemical properties. In this paper the implementation of two-phase packed biofilters (pumice with *Saccharomyces cerevisiae* and activated carbon) is proposed as an alternative treatment. It was used an experimental design 22 where the factors were the biofilm formation time (24 h and 48 h) and activated carbon (presence and absent), two controls (pumice and activated carbon without biofilm and pumice without biofilm). The process was carried out for 7 days. The results showed the best treatment was the biofilter containing biofilm of 48 h and activated carbon as packaging, obtaining a removal percentage of up to 100% of initial organic pollutants.

**KEYWORDS:** Waste water, Biofilm, *Saccharomyces cerevisiae*, Activated carbon, Biofilter.

## INTRODUCCIÓN

El café es la segunda bebida más consumida en el mundo después del agua [1]. En el proceso de beneficio de café se requieren 130 litros de agua para una taza de café, es decir aproximadamente 18,900 litros para la producción de un kilogramo del mismo [2,3]. El agua residual proveniente del proceso, llega a contener principalmente materia orgánica (43% de pulpa, 12% de mucílago y 6.1% de pergamino), metabolitos como cafeína, alcaloides, taninos y entre otros. Dentro de sus propiedades fisicoquímicas resalta su alta acidez y bajo pH, por lo que al ser vertidos en cuerpos de agua sin tratamiento alguno generan un impacto ambiental negativo debido a que reducen la actividad fotosintética, inhiben el crecimiento

de especies acuáticas deseables, además, algunos de sus compuestos químicos como lignina, cafeína y melanoidinas provocan el color oscuro en ellas [4,5,6,7]. Las aguas residuales de la industria del café presentan compuestos lixiviados altamente contaminantes y por tal motivo requiere una debida atención a partir de la aplicación de diversas metodologías de depuración [8]. En los últimos años se han realizado diversos estudios utilizando metodologías para el tratamiento de estas aguas residuales, tal es el caso del uso de electrocoagulación, floculación química y uso de procesos avanzados de oxidación [9]. Sin embargo, la aplicación de estos métodos no ha logrado poner un fin a la problemática, debido a los altos costos de inversión inicial que dificultan la puesta en práctica de estas metodologías. Las aguas residuales de la industria del café necesitan atención debido a su comportamiento altamente contaminante y es necesario aplicar diversas metodologías de depuración [10]. La biofiltración utilizando piedra pómez como medio de soporte ha funcionado como una alternativa para la disminución de parámetros como la demanda química y biológica de oxígeno [11,12], el uso de piedra pómez como medio de soporte en aplicaciones de ingeniería ambiental ha crecido progresivamente desde 2005 y aumentó considerablemente entre 2010 y 2015 [13]. Es por ello que se propone la utilización en conjunto de biofiltros con piedra pómez que contienen biopelículas de *Saccharomyces cerevisiae* y biocarbón ya que de acuerdo a la literatura tienen capacidad de remoción de compuestos contaminantes [14,15]. La biofiltración es una técnica económica y sustentable para la eliminación de contaminantes biodegradables y tóxicos; su uso ha dado buenos rendimientos en la remoción de metales tales como cobre, cadmio y sólidos orgánicos volátiles [16,17]. El objetivo del trabajo fue evaluar la tasa de remoción de la carga orgánica mediante biofiltros en un lapso de 7 días donde por colorimetría se calcularon los porcentajes de remoción. Lo anterior bajo el supuesto que la carga orgánica podría ser retenida en los poros del material y las levaduras podrían consumir la carga orgánica que en su mayoría es mucílago y cáscara de café.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Materiales

Las muestras de agua residual (3.75 L) fueron tomadas en los vertederos de un beneficio de café localizado en el municipio de Huatusco, Veracruz. Se almacenaron en recipientes de polipropileno de alta densidad en un congelador que mantuvo las muestras entre 2 °C y 4 °C para evitar cualquier cambio en sus características fisicoquímicas.

La piedra pómez fue recolectada en la zona costera de la región de Tecolutla, Ver; y se redujo a un tamaño de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup>; el biocarbón fue obtenido por calcinación a partir de olote (residuo de la mazorca de maíz). Los materiales de empaque fueron lavados y secados hasta peso constante para evitar que sus

partículas dieran alguna otra tonalidad al color del agua residual. La cepa de *Saccharomyces cerevisiae* se obtuvo del laboratorio de química de la Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora (UTGZ).

### Caracterización fisicoquímica

El pH, la temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales de las muestras de aguas residuales se midieron en el laboratorio de química de la UTGZ mediante un potenciómetro marca Hanna modelo HI98130 bajo las normas NMX-AA-008-SCFI-2000, NMX-AA-093-SCFI-2000. Los sólidos totales y volátiles se llevaron a cabo mediante la NMX-AA-034-SCFI-2001 y por último la acidez y alcalinidad del agua mediante la norma NMX-AA-036-SCFI-2001. Los análisis se realizaron para caracterizar el agua residual y monitorear el proceso en el biofiltro.

### Activación y maduración de la cepa en la superficie filtrante

Este proceso se llevó a cabo en un vaso de precipitado de 1 L adicionando 100 g de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) seca, se agregaron 50 g de sacarosa en 1 L de agua y se mantuvo a 30 °C. La adaptación de la cepa se llevó a cabo durante 3 días agregando diluciones de agua residual en distintas concentraciones 25 %, 50 % y 75 %. Posteriormente, en el último día se vertió la biomasa a las piedras pómez para realizar la maduración (24 h y 48 h) [18].



Figura 1. Maduración de la Biopelícula en la piedra pómez.

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial mixto 22, los factores fueron tiempo de formación de la biopelícula y contenido de carbón (tabla 1), arrojando un total de 4 tratamientos realizados por triplicado. En donde la variable respuesta fue el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos medido en el periodo de 7 días de experimentación. Se adicionaron 2 tratamientos control con las mismas características exceptuando el uso de la biopelícula y la nomenclatura de los tratamientos se presenta en la tabla 2.

Tabla 1. Diseño experimental.

Factor	Niveles Valorados	
	Tiempo de formación de biopelícula.	24 h.
Biocarbón	Presencia	Ausencia

Tabla 2. Nomenclatura de los tratamientos.

Contenido del biofiltro	Nomenclatura
Biopelícula + Piedra pómez + Biocarbón.	BIO-P-C
Biopelícula + Piedra pómez	BIO-P
Control + Piedra pómez + Biocarbón	C-P-C
Control + Piedra pómez	C-P

### Construcción de los biofiltros

Se construyeron 8 biofiltros de 18 cm de altura de acuerdo al diseño experimental empleado, con una relación diámetro altura de 1:10 para el empaque de biocarbón y el resto para el empaque de piedra pómez. Para los 4 biofiltros que contenían carbón se consideraron 3 cm para la cobertura del mismo y el restante para el empaque de piedra pómez. En masa se ingresaron a los biofiltros 30 g (carbón) por cada 750 ml de agua residual [10]. También se ingresaron 60 g de piedra con biopelícula (base seca), se hizo una separación entre ambos materiales con una malla fina para evitar la suspensión del carbón. Para los biofiltros que no llevaban el carbón sólo se ingresaron 60 gramos de la piedra pómez como se muestra en la figura 2.

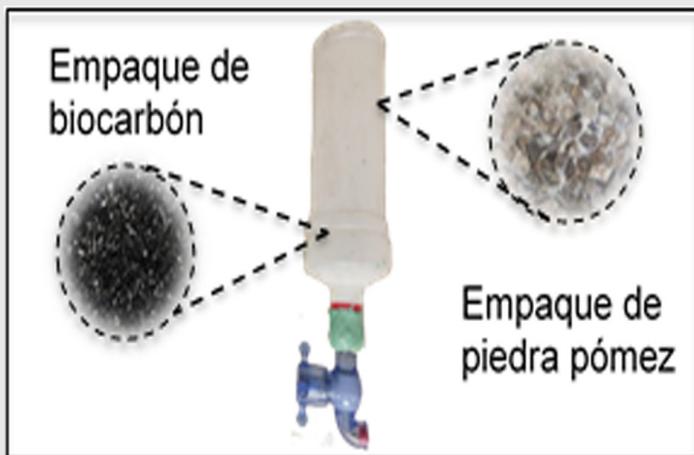


Figura 2. Diseño del biofiltro

### Cálculo del porcentaje de remoción

La determinación del porcentaje de remoción se evaluó con la técnica fotocolorimétrica [19], que toma en cuenta la variación de turbidez (figura 3). El porcentaje de remoción se calculó con la ecuación:

$$\%Remoción = \left( \frac{T_i - T_f}{T_i} \right) (100\%) \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

$T_i$ : Turbidez inicial de la muestra de agua.

$T_f$ : Turbidez final de la muestra de agua.

100%: Expresión para obtener el valor en porcentaje.

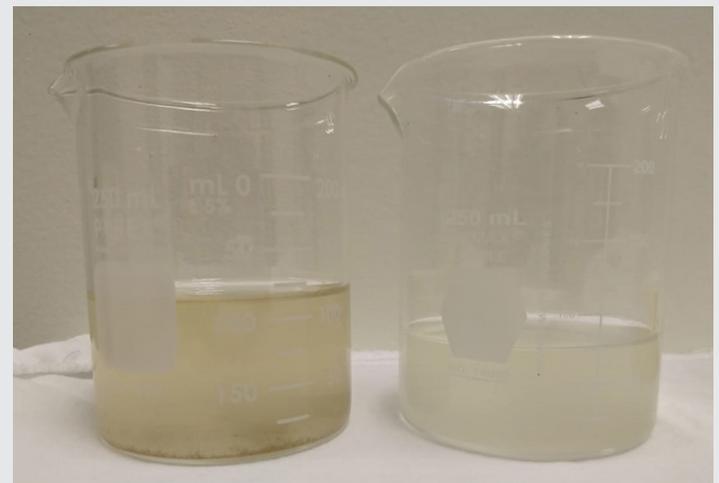


Figura 3. Limpieza del agua residual en el periodo de 7 días.

## RESULTADOS

### Caracterización fisicoquímica

De acuerdo a los análisis fisicoquímicos del agua residual que se muestra en la tabla 3 es evidente que esta agua residual estaba contaminada con carga orgánica además de materia disuelta y en suspensión.

Entre los resultados, se resaltan los valores de pH [20,21], quienes reportan valores de 4.27-4.44, demostrando estar en el rango de los valores obtenidos dada la composición del agua residual y la acidez de la misma. Los sólidos totales y volátiles en distintos artículos oscilan entre 995 mg/L y 267 mg/L respectivamente [22,23]. En comparación con los resultados obtenidos se tienen valores muy por debajo [24].

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica inicial.

Parámetros	Valor
pH	4.08 ± 0.01
Conductividad eléctrica (µS/cm)	580 ± 1.930
Sólidos totales (mg/L)	4.5 ± 0.424
Sólidos volátiles (mg/L)	3.9 ± 0.424
Sólidos totales suspendidos (ppm)	337 ± 1.154
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	162.5 ± 3.535
Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	237.5 ± 17.67

La conductividad eléctrica obtenida fue de 580 ± 1.930 µS/cm. Comparado valores como 221 µS/cm y 993 µS/cm indicando que estos valores están en el rango presentado [25]. Para los valores de acidez y alcalinidad los valores obtenidos por el autor oscilaron entre 29 mg/L y 493 mg/L.

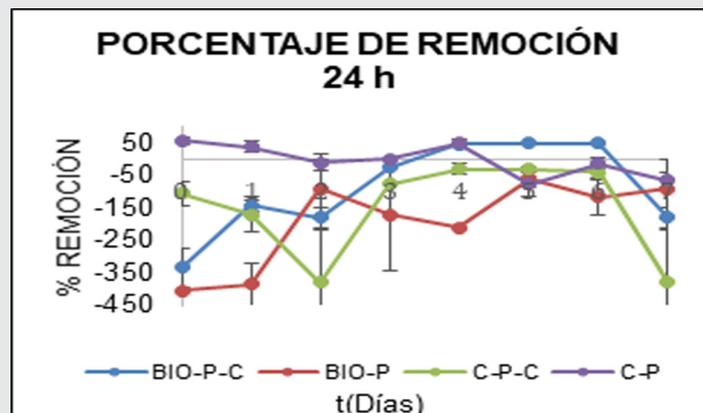
De igual forma el tratamiento que mostró mejores resultados fue el biofiltro con biopelícula, biocarbón y piedra pómez, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 4.

Tabla 4. Caracterización fisicoquímica final.

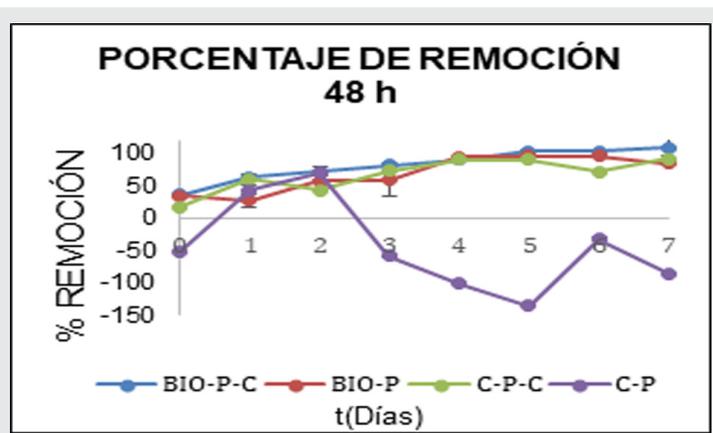
Parámetros	Valor
pH	5.56 ± 0.01
Conductividad eléctrica (µS/cm)	440 ± 2.730
Sólidos totales (mg/L)	1.8 ± 1.089
Sólidos volátiles (mg/L)	1.6 ± 1.830
Sólidos totales suspendidos (ppm)	100 ± 0.154
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	160.4 ± 2.250
Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	140.2 ± 1.355

**Porcentaje de remoción**

De acuerdo a la experimentación realizada se obtuvieron las gráficas de porcentaje de remoción del agua residual biofiltrada en un periodo de siete días, comprendiendo en los tiempos de maduración de 24 h y 48 h. Se puede apreciar en la gráfica 1 que el porcentaje de remoción con una formación de biopelícula de 24 h. El comportamiento de los tratamientos fue en descenso en función de los días de estancia en cada biofiltro, presentando porcentajes de remoción negativos infiriendo que la biopelícula no se formó totalmente y que pequeñas partículas de la piedra pómez se desprendían enturbando el agua. Por otro lado, en la biopelícula formada en un tiempo de maduración de 48 h (gráfica 2), se aprecia que el mejor tratamiento fue el de biopelícula, piedra pómez y biocarbón (BIO-P-C) llegando a un porcentaje de remoción del 100 %, se observa que los tratamientos de piedra pómez con biopelícula (BIO-P) y el control de piedra pómez sin biopelícula y biocarbón (C-P-C) muestran comportamientos similares, asumiendo de esta manera que el tratamiento control (C-P-C) muestra un porcentaje de remoción aceptable. Finalmente se aprecia que el control de piedra pómez (C-P) en ambos tiempos no fue el mejor.



Gráfica 1. Porcentaje de remoción con la biopelícula formada en 24 h.



Gráfica 2. Porcentaje de remoción con la biopelícula formada en 48 h.

En los análisis estadísticos, se obtuvieron los valores de intercepto y pendiente, con el fin de evaluar las interferencias que pudieran existir entre los tratamientos y observar con ello si realmente son estadísticamente diferentes. De acuerdo al ANOVA se obtuvo un valor de R<sup>2</sup> ajustada de 0.986567 y 0.906151 para el intercepto y la pendiente respectivamente lo que indica que dentro de la experimentación hubo muy pocos ruidos experimentales que pudieran afectar a los resultados. El valor de p fue <0.0001\* por lo cual se asume que alguno de los tratamientos es estadísticamente diferente.

Se realizó una prueba de Tukey (tabla 5) para la comparación de las medias entre parejas de los tratamientos. Se aprecia que hay 4 grupos diferentes de acuerdo a los tratamientos evaluados en donde los del grupo A presentaron un inicio similar de acuerdo al porcentaje de remoción, por lo cual los siguientes grupos iniciaron con valores diferentes. En contraparte la tabla 6 indica que el grupo B tiene un comportamiento similar en función del tiempo. Posiblemente esto fue debido a la maduración de la biopelícula de 48h y el uso en el biofiltro de carbón permitiendo que se obtenga mayor porcentaje de remoción en el periodo.

Tabla 4. Caracterización fisicoquímica final.

Parámetros	Valor
pH	5.56 ± 0.01
Conductividad eléctrica (µS/cm)	440 ± 2.730
Sólidos totales (mg/L)	1.8 ± 1.089
Sólidos volátiles (mg/L)	1.6 ± 1.830
Sólidos totales suspendidos (ppm)	100 ± 0.154
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	160.4 ± 2.250
Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	140.2 ± 1.355

Por último, se llevó a cabo una prueba Dunnett comparando la diferencia de las medias de los tratamientos y las medias de los controles, 24 C-P, 48 C-P, 24 C-P-C y 24 C-P-C por lo cual se sometieron a realizar 4 métodos para ver la diferencia estadística antes descrita. Se

observó que los tratamientos respecto a ambos controles fueron estadísticamente diferentes. Con esto se puede concluir que los controles son estadísticamente diferentes por lo cual existen mejores tratamientos que estos experimentos.

Tabla 5. Valores de la media en el intercepto.

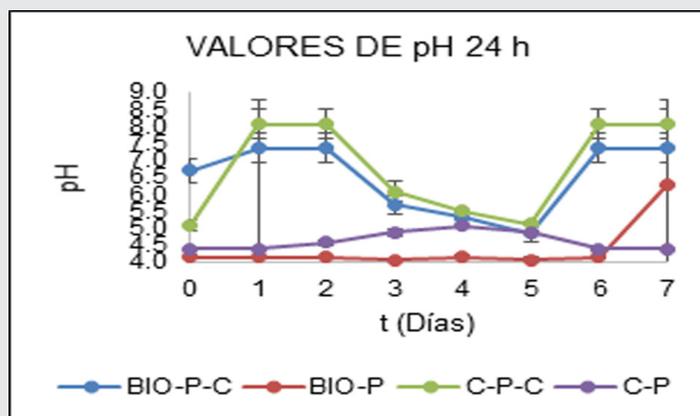
Nivel		Media
24 h C-P	A	53.6391
24 h BIO-P-C	A	50.5626
48 h C-P-C	A B	34.1600
48 h BIO-P	A B	32.5099
48 h C-P	B	-10.9395
24 h C-P-C	C	-143.7837
24 h BIO-P-C	C	-188.6685

Tabla 6. Valores de la media de la pendiente.

Nivel		Media
24 h BIO-P	A	42.904
24 h BIO-P-C	A	33.385
48 h BIO-P	B	10.187
48 h BIO-P-C	B	8.904
48 h C-P-C	B	8.489
24 h C-P-C	B	-2.180
24 h C-P	C	-14.980

### Medición de pH en el periodo de 7 días

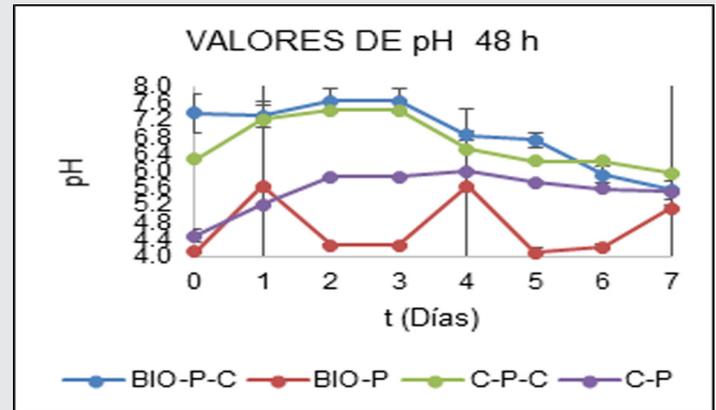
Los resultados obtenidos de pH en el periodo de biofiltración de 7 días se pueden apreciar en las gráficas 3 y 4 en un tiempo de maduración de 24 h y 48 h respectivamente apreciando que el pH aumenta en función del tiempo, considerando el valor inicial obtenido en la caracterización fisicoquímica.



Gráfica 3. Comportamiento del pH para los biofiltros con maduración de 24 h.

Gráficamente se puede apreciar que se obtiene hasta un valor de 7.5 y 8.07 para el BIO-P-C y el C-P-C respectivamente para el tratamiento de 24 h. y valores de 5.95 para el de 48 h. De acuerdo a

[26], el cual tuvo una disminución de pH de acuerdo a la formación de biopelícula en una superficie de piedra pómez, reduciendo el valor de 9 a 5 en un periodo de 6 días, similar a lo obtenido para el tratamiento de 48 h.



Gráfica 4. Comportamiento del pH para los biofiltros con maduración de 48 h.

### CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que la biofiltración para el tratamiento del agua residual producida en el proceso de beneficio de café es viable, utilizando *Saccharomyces cerevisiae* para la formación de una biopelícula en una superficie porosa como la piedra pómez y biocarbón. La caracterización fisicoquímica de esta agua en los parámetros de sólidos totales, sólidos volátiles, pH, TDS y conductividad eléctrica demuestran que esta agua residual tiene gran cantidad de contaminantes orgánicos. Gracias al análisis estadístico realizado relacionando los factores de la experimentación y en función de las variables respuestas, se mostró una diferencia estadística entre los tratamientos evaluados por medio de los análisis de ANOVA, Tukey y Dunnett. Estos mostraron que el mejor tratamiento fue el de biopelícula con biocarbón como empaque para el biofiltro (48 h. BIO-P-C). De acuerdo a la NOM-002-ECOL-1996, el pH del agua residual incumplía los límites máximos permisibles, los resultados finales muestran que los tratamientos implementados logran aumentar el pH cumpliendo con los requerimientos de la misma. Esta investigación nos indica que existen oportunidades de mejora como proponer un sistema de aireación dentro del proceso de biofiltración para considerar las caídas de presión que pueda tener el proceso que provocaría una resistencia en el flujo de salida, además de las zonas de transferencia de masa como cada uno de los empaques observando el comportamiento de absorción de cada material en el periodo de tiempo evaluado. Del mismo modo se plantea que este proceso puede ser utilizado en un tratamiento de agua más complejo, puesto que a pesar de disminuir los sólidos totales disueltos estos no se eliminan por completo, por lo que se sugiere como opción de aplicación someter el agua residual a un tratamiento previo de electrocoagulación y posteriormente al pro-

ceso de biofiltración para aprovechar los beneficios de ambas metodologías.

#### BIBLIOGRAFÍA

[1] SIAP, S. (2017). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Bovino leche, población ganadera 2006–2015.*

[2] Rodríguez, A. (2019). *Cerveza, café y chocolate ¿Cuánta agua se necesita para producirlos? Obtenida el 20 de marzo de 2019, de la página electrónica: <https://news.culturacolectiva.com/mundo/chela-cafe-y-chocolate-cuanta-agua-se-necesita-para-producirlos/>.*

[3] Rodríguez, A. (2019). *Cerveza, café y chocolate ¿Cuánta agua se necesita para producirlos? Obtenida el 20 de marzo de 2019, de la página electrónica: <https://news.culturacolectiva.com/mundo/chela-cafe-y-chocolate-cuanta-agua-se-necesita-para-producirlos/>.*

[4] Sahana M, Srikantha H, Mahesh S, Swamy MM (2018) Coffee processing industrial wastewater treatment using batch electrochemical coagulation with SS and Fe electrodes and its combinations, recovery and reuse of sludge. *Water Sci Technol* 78:279–289.

[5] Navitha K, Kousar H (2018) A comparative study on the potential of *Aspergillus niger* and *Aspergillus flavus* for the treatment of coffee processing effluent. *Int J Environ Ecol Fam Urban Stud* 8(4):17–22.

[6] Morales Buitrago, C., & Mejía González, C. A. (2016). *Evaluación del desempeño de un biodigestor para el tratamiento de mieles de café procedentes del becolsub en los tiempos de menor retención, en el municipio del Águila-Valle del Cauca.*

[7] Pérez TZ, Geissler G, Hernandez F (2007) Chemical oxygen demand reduction in coffee wastewater through chemical flocculation and advanced oxidation processes. *J Environ Sci* 19:300–305.

[8] Cardenas A, Zayas T, Morales U, Salgado L (2009) Electrochemical oxidation of wastewaters from the instant coffee industry using a dimensionally stable Ru/CoOx Anode. *ECS Trans* 20(1):291–299.

[9] Shanthakumar SG (2018) Coffee mini review (1). *Indian J Environ Prot* 38(3):213–220.

[10] Devi, R., Singh, V., & Kumar, A. (2008). COD and BOD reduction from coffee processing wastewater using Avacado peel carbon. *Bioresource technology*, 99(6), 1853–1860.

[11] T. Liu, Z.-L. Wang, X. Yan, B. Zhang, (2014). Removal of mercury (II) and chromium (VI) from wastewater using a new and effective composite: Pumice-supported nanoscale zero-valent iron, *Chem. Eng. J.* 245 34–40.

[12] Al Kholif, M., & Abdul Jumali, M. (2017). The Effect of Pumice Stone Media in Reducing Pollutant Load in Grey Water by Using Anaerobic Biofilter. In *Proceedings of the 2nd International Symposium of Public Health* (Vol. 1, pp. 10–16).

[13] Çifçi, D. İ., & Meriç, S. (2016). A review on pumice for water and wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*, 57(39), 18131–18143.

[14] Whitfield, G. B., Marmont, L. S., and Howell, P. L. (2015). Enzymatic modifications of exopolysaccharides enhance bacterial persistence. *Frontiers in Microbiology*, 6.

[15] Rabah, A. B., Ibrahim, M. L., Ijah, U. J., & Manga, S. A. B. (2011). Assessment of the efficiency of a yeast biofilter in the treatment of abattoir wastewater. *African Journal of Biotechnology*, 10(46), 9347–9351.

[16] Rodríguez, A. (2019). *Cerveza, café y chocolate ¿Cuánta agua se necesita para producirlos? Obtenida el 20 de marzo de 2019, de la página electrónica: <https://news.culturacolectiva.com/mundo/chela-cafe-y-chocolate-cuanta-agua-se-necesita-para-producirlos/>.*

[17] He, H., Xiang, Z., Cheng, X., Chen, H., Huang, H., Wen, M. and Yang, C. (2017). Biosorción of Cd (II) from synthetic wastewater using dry biofilms from biotrickling filters. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 15(1): 1491–1500.

[18] Lale, M., Temoçin, Z., & Bag, H. (2001). Sorption behaviour of copper (II), zinc (II) and nickel (II) on formaldehyde cross-linked *Saccharomyces cerevisiae* immobilized on pumice stone. *Fresenius Environmental Bulletin*, 10(9), 736–740.

[19] Limón, R., Centeno, J., López, V., Morales, E. (2017). Validación de prototipos con mínima instrumentación a través de análisis fisicoquímicos en agua. *Impulso tecnológico* 16 (40): 246–247.

[20] Rattan, S., Parande, A. K., Nagaraju, V. D., & Ghiwari, G. K. (2015). A comprehensive review on utilization of wastewater from coffee processing. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(9), 6461–6472.

[21] Sujatha, G., Shanthakumar, S., & Chiampo, F. (2020). UV Light-Irradiated Photocatalytic De-

gradation of Coffee Processing Wastewater Using TiO<sub>2</sub> as a Catalyst. *Environments*, 7(6), 47.

[22] Matuk, V., Puerta, G. I., Rodríguez, N. (1998). Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo de café. *Cenicafé* 48(4): 234-252. 1997.

[23] Zuluaga V., J. Los factores que determinan la calidad del café verde. In: FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ., Conferencia, 2005. p. 167-18.

[24] Montoya, A. C. V., da Silva Mazareli, R. C., Delforno, T. P., Centurion, V. B., Sakamoto, I. K., de Oliveira, V. M., ... & Varesche, M. B. A. (2019). Hydrogen, alcohols and volatile fatty acids from the co-digestion of coffee waste (coffee pulp, husk, and processing wastewater) by applying autochthonous microorganisms. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(39), 21434-21450.

[26] FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Tecnología del cultivo del café. Manizales, Comité Departamental de Cafeteros de Caldas - Cenicafé, 1987. 404p.