

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO₅ Y SS EN SEDIMENTADOR Y LECHO FILTRANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL BENEFICIO DE CAFÉ (*Coffea arabica*)

Efficiency of removal of bod₅ and ss in sedimentation tanks and filters in wastewater treatment systems for coffee bean (*Coffea arabica*) processing

Palabras clave: aguas residuales, beneficio húmedo de café, remoción, sólidos suspendidos, tratamiento.

Keywords: wastewater, wet coffee processing, removal, solids suspended, treatment.

Nelson Gutiérrez Guzmán¹

Eduardo Valencia Granada²

Renso Alfredo Aragón Calderón³

RESUMEN

Para evaluar las condiciones de operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que utilizan los pequeños caficultores del sur del Huila, se construyó un prototipo a escala de laboratorio (E 1:25) compuesto por un sedimentador y un filtro dispuestos en serie, simulando el mismo tipo de sistema y condiciones operacionales utilizados por los productores del grano. Se realizó tratamiento a muestras de aguas residuales de lavado del café, a fin de evaluar eficiencias de remoción en DBO₅ y Sólidos Suspendidos (SS). Se utilizó un diseño experimental 2³, en el que se definieron como factores el tipo de filtro, el tipo de sedimentador y el tiempo de retención hidráulica y como variable respuesta remoción expresada en porcentaje. Los resultados mostraron eficiencias de remoción de sólidos suspendidos superiores al 95% y remoción de DBO₅ cercanas al 20%; los máximos valores de remoción de SS se presentaron con la combinación integrada por sedimentador tipo 1 (Desnatador de geometría cuadrada de menor área), el filtro tipo 1

(Filtro anaerobio de flujo ascendente) y tiempo de retención hidráulica en el sedimentador de 30 horas.

ABSTRACT

In order to evaluate the current operating conditions of wastewater treatment systems of small scale coffee growers in the south of Huila a lab-scale prototype (S 1:25) was constructed. It was composed of both a sediment tank and a filter fit in series, simulating similar operating conditions used by coffee producers. Removal of biological oxygen demand (BOD₅) and suspended solids (SS) was performed in wastewater from coffee bean processing. A 2³ factorial experimental design for the evaluation of the type of sedimentation tank, type of filter and hydraulic retention time (HRT) in the sedimentation tank was employed. The results showed high removal efficiencies of suspended solid concentrations (more than 95%), and low removal efficiencies in BOD₅ (about 20%). The combination of tank type 1 (square with a lower area), filter type 1 (upflow anaerobic filter – UAF) and HRT of 30 hours had the highest removal efficiency.

¹ Grupo de Investigación Agroindustria USCO, Departamento Ingeniería Agrícola, Universidad Surcolombiana, Neiva Colombia. Autor para Correspondencia: ngutierrezg@usco.edu.co

² Departamento Ingeniería Agrícola, Universidad Surcolombiana, Neiva Colombia. eduvale@usco.edu.co

³ Departamento Ingeniería Agrícola, Universidad Surcolombiana, Neiva Colombia. rensoa.aragonc@gmail.com

<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a02>

Para citar este artículo: Gutiérrez Guzmán N., Valencia Granada E., Aragón Calderón R. A. (2014). Eficiencia de remoción de DBO₅ y SS en sedimentador y lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café (*Coffea arabica*). Colombia Forestal, 17(2), 151-159.

INTRODUCCIÓN

En general las áreas cafeteras de Colombia corresponden a zonas de montaña con abundancia en fuentes hídricas; cuando los subproductos del beneficio del café representados por pulpa y mucílago no son manejados adecuadamente, representan respectivamente el 72% y el 28% de la contaminación que llega a las corrientes naturales de agua, en una proporción tal que un kilogramo de fruto procesado contamina igual a las aguas residuales domésticas de un habitante por día ([CENICAFE, 2011](#)). El panorama se observa más grave teniendo en cuenta que para producir 11 millones de sacos, se procesan en Colombia cada año aproximadamente 2 700 millones de kg de café cereza ([FNC, 2005](#)).

De otro lado, las operaciones realizadas inmediatamente después de recolectar el grano de café son ejecutadas en la misma granja cafetera para transformar el café cereza en café pergamino y corresponden en su conjunto al denominado beneficio húmedo del café, que incluyen las tareas de despulpado, fermentación, lavado y secado; y es en el proceso de lavado donde se generan los mayores aportes de carga contaminante a las fuentes hídricas circundantes. De la operación de remoción de mucílago mediante lavado, se generan aguas residuales y lixiviados que pueden aportar carga orgánica, en términos de la DBO, que superan los 6 000 mg O₂/l ([Álvarez et al., 2011](#)).

Los sistemas para el tratamiento de aguas residuales procedentes del beneficio de café que están funcionando en el departamento del Huila, constan de dos componentes básicos: uno basado en el proceso de sedimentación y el otro utiliza como principio la filtración; como es costumbre, los caficultores y técnicos del sector los denominan desnatador y filtro. Este último se encuentra compuesto por tres capas con partículas de granulometría graduada (arena, grava y agregados de mayor tamaño) ([Gutiérrez et al., 2007](#)).

En el tratamiento de aguas residuales se evalúan los efectos de fuerzas físicas, reacciones químicas, control biológico o acción microbiológica, con el

propósito de producir cambios en la calidad del agua. Para el caso específico de tratamiento de aguas residuales producto del beneficio del café, se pueden destacar las investigaciones realizadas por [Yacsik & Ramírez \(2005\)](#), quienes definieron la metodología para el tratamiento de residuos generados en el beneficio del café en la planta de beneficio ecológico de ALEACAF. [Orozco et al. \(2005\)](#) evaluaron una planta piloto de tratamiento de aguas residuales del procesamiento del café de mediano tamaño en el estado de Chiapas México, evaluando pH, DQO, cianuro, cadmio, zinc y níquel, encontrando que todos los parámetros evaluados cumplieron la norma mexicana. [Del Panta et al. \(2009\)](#) realizaron un estudio al sistema de tratamiento de las aguas mieles en Salcedo República Dominicana, cuyos componentes están dispuestos de manera inversa (Filtro - Sedimentador) a los sistemas que utilizan los cafeteros del sur del Huila. Asimismo, [Rodríguez \(2009\)](#) realizó una Tesis Doctoral en la que se diseñó un pos tratamiento biológico integrado que utiliza macrófitas para el tratamiento de las aguas mieles del café.

Como alternativa a los sistemas tradicionales de tratamiento de aguas residuales resultantes del beneficio del café, se vienen desarrollando los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA), que están compuestos por un reactor hidrolítico-acidogénico y un reactor metanogénico ([Orozco, 2003](#)). Sin embargo, su uso no se ha extendido entre los pequeños productores de café del sur del Huila.

La necesidad de contar con infraestructura adecuada para el beneficio de café es uno de los factores que afectan la implantación de un programa de buenas prácticas agrícolas en productores del grano, se incluye en este protocolo el manejo adecuado de los subproductos para evitar afectaciones al medio ambiente ([Gutiérrez et al., 2009](#)); adicionalmente, según reporte del Ministerio de Ambiente de Colombia ([MINAMBIENTE, 2010](#)), solamente el 51% de los sistemas de tratamiento de aguas residuales tanto domésticos como industriales instalados en Colombia funcionan de manera aceptable.

Lo anterior indica que, si bien es cierto algunos sistemas utilizados para tratar aguas residuales producto del beneficio del café vienen siendo objeto de preguntas de investigación, no se reportan investigaciones puntuales relacionadas con la evaluación de la eficiencia de remoción de los sistemas compuestos por Desnatador-Filtro, que actualmente utilizan los cafeteros en el Huila, ni tampoco se ha definido como objetivo de una investigación proponer rediseños o cambios en la forma de operación de los mismos.

El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar la eficiencia expresada en porcentaje de remoción de los parámetros DBO_5 y Sólidos Suspendidos (SS) en el sistema típico de tratamiento de aguas residuales, producto del beneficio húmedo del café que utilizan los pequeños cafeteros del sur del Huila, simulando el proceso de beneficio húmedo a nivel de laboratorio en un prototipo a escala 1:25.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon muestras de café cereza de 12,5 kg, transportadas el mismo día de la recolección hasta las instalaciones del Centro de Investigación CESURCAFE de la Universidad Surcolombiana en Neiva Colombia. La planta de beneficio tipo laboratorio correspondió a una reproducción a escala 1:25 del sistema de tratamiento de aguas residuales tipo que utilizan tradicionalmente los pequeños productores de la zona cafetera del sur del Huila y que coincide con el sistema de tratamiento reportado por [Gutiérrez et al., \(2007\)](#).

A su llegada a la planta de beneficio, las muestras fueron despulpadas y dejadas en fermentación sin adicionar agua durante 18 horas; transcurrido este tiempo, las muestras fueron sometidas a tres lavados para eliminar los restos de mucílago, se emplearon 20 L de agua, distribuidos en 7 L de agua para el primer lavado, 7 L en el segundo y 6 L en el tercer lavado. Durante cada lavado, el grano se revolvía con una cuchara plástica para facilitar el desprendimiento del mucílago, imitando las condiciones de lavado empleadas por los caficultores en el campo.

Las aguas residuales obtenidas en los tres lavados se condujeron a uno de los dos sedimentadores de geometría cuadrada con capacidad para 20 L disponibles, se emplearon TRH de 24 h y 36 h, similares a los tradicionalmente empleados por los productores y posteriormente se hacían pasar por uno de los dos filtros disponibles, filtro de flujo ascendente -FFA o por un filtro de flujo horizontal-FFH que funcionan solamente como lecho filtrante, ya que en la práctica no se inoculan al inicio de cada una de las dos épocas de cosecha anuales. En ambos filtros el TRH fue menor a dos minutos.

El prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales construido estaba compuesto por tres sedimentadores, colocados en paralelo de igual volumen útil 20 L y de igual forma (prismática de sección cuadrada en la parte superior y de tronco de pirámide en la parte inferior), variando las dimensiones del lado del cuadrado y la altura; y dos filtros de diferente forma pero de igual volumen, uno FFA empacado con tres lechos de gravas y arena y un filtro de flujo horizontal FFH con los mismos lechos; el flujo en los sedimentadores fue tipo *batch* y en los dos filtros fue de flujo continuo intermitente.

Se recolectaron tres muestras de agua residual de 1 L cada una, por cada una de las ocho corridas propuestas en el diseño experimental. La primera muestra se tomaba del afluente antes de ingresar al sedimentador proveniente de la mezcla de las aguas del primer, segundo y tercer lavado (M1); la segunda muestra se tomaba del efluente del sedimentador, una vez culminado el proceso de sedimentación, recogiendo el agua ubicada en la parte media del recipiente después de haber sido retirada la nata (M2); la tercera muestra se tomaba del efluente del sistema, en cuanto el agua había completado el proceso de filtración (M3).

Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Aguas de la Universidad Surcolombiana, donde se analizó la DBO_5 y Sólidos Suspendidos (SS). Para determinar la DBO_5 se utilizó el método Titulométrico Winkler ([Silva et al., 2009](#) y [El Mabrouki et al., 1999](#)) y para los SS el método

Gravimétrico (Rivera *et al.*, 2004). El cálculo del porcentaje de remoción se estimó de acuerdo con la siguiente relación (Scavo, 2004):

$$\text{Remoción (\%)} = \frac{(\text{Concentración entrada} - \text{Concentración salida})}{\text{Concentración entrada}} \times 100$$

El diseño experimental correspondió a un diseño factorial 2³ para un total de ocho observaciones con un nivel de confianza del 95%; el diseño permitió estudiar los efectos simples de tres factores, TRH (24 h y 36h), Tipo de desnatador (Geometría cuadrada con área superficial de 1250 cm² y 625 cm² y Tipo de filtro (FFA y FFH) en ocho ejecuciones; el diseño se realizó en un solo bloque y el orden de los experimentos fue totalmente aleatorio. El análisis de los datos procedentes de los ocho ensayos permitió definir si los factores estudiados tienen efectos estadísticamente significativos sobre la variable respuesta (porcentaje de remoción de SS y DBO₅). Todos los datos procedentes de la presente investigación fueron sometidos a un completo análisis estadístico, utilizando el paquete estadístico [STATGRAPHICS Plus 5.1](#) (Manugistics, Inc., Rockville MD, USA).

RESULTADOS

Los resultados del análisis de los parámetros DBO₅ y SS realizados en el laboratorio de aguas de la Universidad Surcolombiana para los ocho ensayos ejecutados están presentados en la [Tabla 1](#), como se observa, se relacionan los tres puntos de muestreo en el prototipo M1, M2 y M3; los valores tanto de DBO₅ como de SS medidos en el afluente (M1) son considerablemente altos, llegando a alcanzar para el caso de DBO₅ los 9 770 mg O₂ /l y para el caso de sólidos suspendidos totales 5 520 mg/l.

La tendencia de evolución de los valores de DBO₅ y de SS está presentada en las [Figuras 1](#) y [2](#) respectivamente. Los valores de DBO₅ presentan una evolución lineal descendente entre los tres puntos de medición del sistema de tratamiento y en su conjunto, aunque la pendiente de la línea recta no presenta una inclinación acentuada, lo que implica una baja eficiencia de remoción para este parámetro. Lo anterior se corrobora con los valores finales promedio (5165,5 ± 1176,69 mg O₂/l) que

definitivamente son valores muy altos para aguas residuales tratadas; esto puede ser consecuencia de que los filtros operaron como lechos filtrantes y no como digestores, además no fueron inoculados ni se permitió periodo de arranque, situación similar se presenta en las fincas cafeteras al inicio de cada cosecha.

En el caso de la evolución de los valores de SS, estos presentan una evolución exponencial descendente, siendo más pronunciada entre los puntos de medición M1 y M2; es decir, como consecuencia del proceso de sedimentación. De igual forma, la evolución continúa con tendencia decreciente entre los puntos de medición 2 y 3 alcanzando al final del proceso valores promedio de 32.87 ± 28.29 mg /l, que corresponden a valores bastante bajos, lo que implica una alta eficiencia de remoción para este parámetro.

Con relación a la evaluación de la remoción de SS en el diseño factorial 2³, la [Tabla 2](#) presenta los valores obtenidos para cada variable estudiada y su efecto sobre la remoción en sólidos suspendidos, teniendo en cuenta que el valor bajo para TRH en el sedimentador, correspondió a 24 horas y el TRH alto a 36 horas. Como puede verse, después de analizar en conjunto el sistema de tratamiento, se consigue un porcentaje de remoción promedio superior al 99%.

El modelo que describe el proceso de remoción para sólidos suspendidos en función de las tres variables evaluadas y las correspondientes interacciones se expresa de acuerdo con la siguiente ecuación de orden lineal:

$$R(\%) = (98.37) - (0.37 * D) + (1.47 * F) + (0.0229 * T) + (0.31 * D * F) + (0.006 * D * T) - (0.052 * F * T)$$

Donde:

R = Remoción

D = Desnatador

F = Filtro

T = Tiempo de sedimentación

En el ANOVA de los términos que componen la función que permite modelar la remoción de SS, es importante destacar que a pesar de que ninguno de los

Tabla 1. Eficiencias de remoción en planta piloto de beneficio húmedo de café

Corrida	Parámetro	M1	M2	M3	% Remoción		
					M ₁ - M ₂	M ₂ - M ₃	M ₁ - M ₃
1	SS(mg/l)	2820	957	40	66.1	95.8	98.6
	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	7735	8010	5995	-3.6	25.7	22.5
2	SS(mg/l)	4410	475	98	89.2	79.4	97.8
	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	6735	7770	7110	-15.4	8.5	-5.6
3	SS(mg/l)	5520	158	23	97.1	85.4	99.6
	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	7928	4320	5550	45.5	-28.5	30.0
4	SS(mg/l)	3190	85	12	97.3	85.8	99.6
	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	8130	7740	5895	4.8	23.8	27.5
5	SS(mg/l)	2800	82	36	97.1	56.1	98.7
	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	9770	7810	4309	20	44.8	55.9
6	SS(mg/l)	2450	130	24	94.7	81.5	99.0
	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	5180	3661	3455	29.2	5.6	33.3
7	SS(mg/l)	4300	122	20	97.2	83.6	99.5
	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	6500	4775	4580	26.5	4.1	29.5
8	SS(mg/l)	3640	213	10	94.1	95.3	99.7
	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	6140	4805	4430	21.7	7.8	27.8

componentes de la función resulta ser estadísticamente significativo en segmentos separados, el modelo ajustado explica el 65,93% de la variabilidad en la variable respuesta. Además, en la ruta ascendente desde el centro de la región experimental, la respuesta estimada varía rápidamente con una variación mínima en los factores experimentales, indicado localizaciones buenas para ejecutar experimentos adicionales si se busca aumentar la remoción.

Finalmente, en la [Figura 3](#) se presenta la superficie de respuesta resultante en la expresión de la variable respuesta (Porcentaje de remoción de SS) en función de las tres variables evaluadas; como puede observarse, los máximos valores de retención de SS que pueden llegar a ser del 99,7%, se presentan cuando se utilizó el desnatador -1 (Desnatador de geometría cuadrada con menor área), el filtro -1 (FFA) y un TRH de 30 h en el sedimentador.

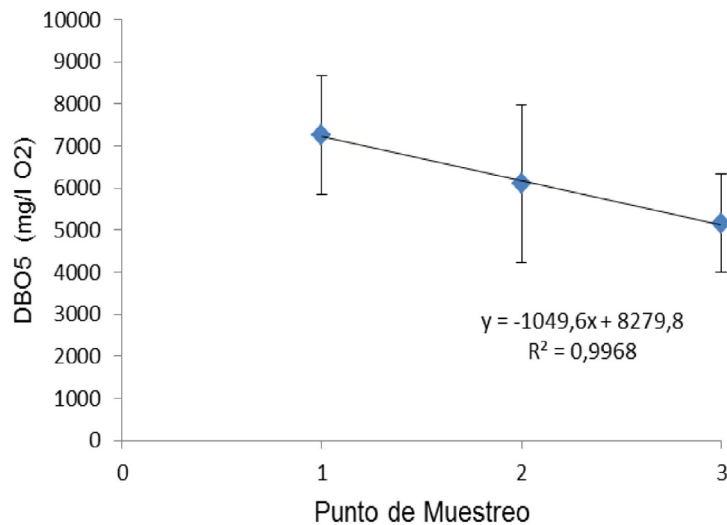


Figura 1. Evolución de valores de DBO₅ en el sistema de tratamiento de aguas residuales

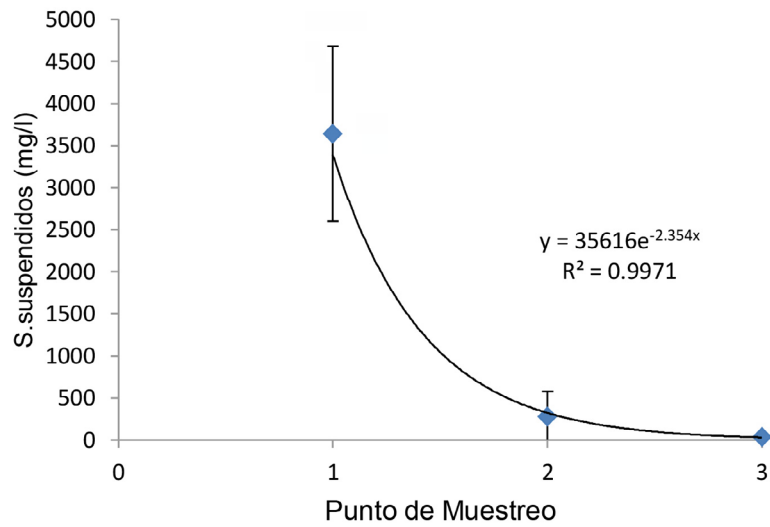


Figura 2. Evolución de valores de SS en el sistema de tratamiento de aguas residuales

Tabla 2. Efectos obtenidos en porcentaje remoción para sólidos suspendidos en diseño 2³

Variable e Interacción	Valor Estimado
Promedio	99,0625 +/- 0,3625
A:Desnatador	-0,375 +/- 0,725
B:Filtro	-0,175 +/- 0,725
C:Tiempo sedimentación	0,275 +/- 0,725
AB	0,625 +/- 0,725
AC	0,075 +/- 0,725
BC	-0,625 +/- 0,725

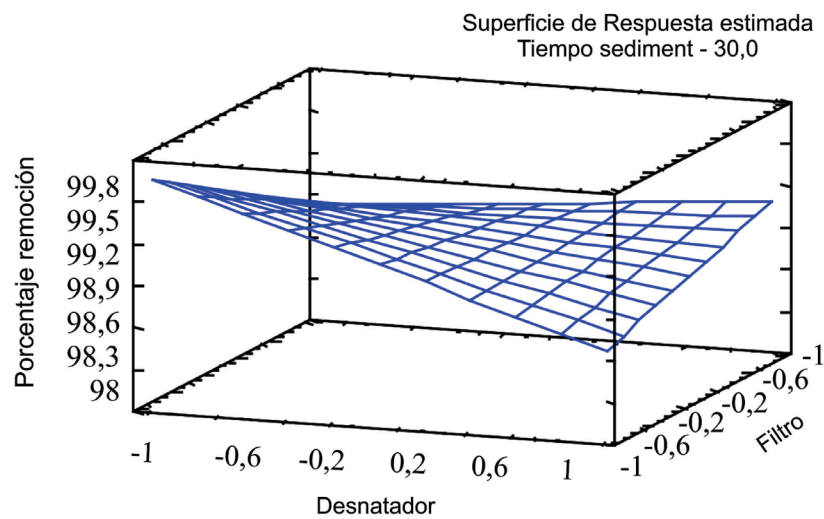


Figura 3. Superficie de respuesta en remoción de sólidos suspendidos

DISCUSION

El análisis de los resultados referidos a las concentraciones de los parámetros indicadores de la calidad del agua evaluados, permite resaltar que tanto las concentraciones iniciales de DBO_5 (7264 ± 1422 mg O_2/l) como de Sólidos Suspendidos (3641 ± 1039 mg/l) son muy altas; por ejemplo, si se comparan con aguas residuales domésticas que están del orden de $DBO_5 = 200$ mg O_2/L y $SS = 250$ mg/L, por lo tanto, las aguas residuales del beneficio del café son de alto impacto en el ambiente, especialmente en una región como el departamento del Huila, en donde más de 85 000 familias productoras del grano son potenciales contaminantes con este tipo de aguas residuales a las fuentes hídricas. Las magnitudes iniciales de los parámetros evaluados coinciden con [Álvarez et al. \(2011\)](#) quienes reportaron valores iniciales de DBO_5 entre 6050 y 7720 mg O_2/l y de sólidos suspendidos entre 2760 y 3030 mg/l.

El sistema evaluado presentó altas eficiencias de remoción para sólidos suspendidos (superiores al 98%), pero muy bajas para la remoción de DBO_5 (en promedio cercanas al 20%). Las eficiencias de remoción para DBO_5 reportadas para otros sistemas propuestos como el caso del reactor metanogénico tipo UAF superan el 80 % ([Orozco, 2003](#)) y los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio que alcanzaron el 83% ([CENICAFE, 2011](#)); los bajos niveles de remoción para DBO_5 obtenidos en este estudio pueden ser asimilados a las eficiencias que pueden estar obteniendo los sistemas de tratamiento de aguas residuales que tienen instalados los productores de café del sur del departamento del Huila, y pueden ser consecuencia de que este tipo de sistemas no se inoculan ni cuentan con periodo de arranque; pues en la práctica los productores no operan el sistema durante casi cuatro meses, entre las dos épocas de cosecha al año, y al inicio de cada cosecha lo utilizan con las aguas residuales del beneficio de los primeros granos cosechados. En este caso, el sistema de filtración funciona solamente como lecho filtrante.

Teniendo en cuenta que en el sedimentador el TRH es alto (se permitieron operaciones de hasta 36

horas), y que por las características de operación se asimila a un reactor tipo *batch* anaerobio, el principio de separación predominante sería de tipo físico (sedimentación de partículas), removiendo principalmente SS con alta eficiencia; además, la carga orgánica volumétrica (COV) estaría del orden de 7.74 kg/ m^3 -d, que pueden ser considerados valores altos para el tipo de sistema que se está utilizando en el tratamiento de las aguas residuales producto del beneficio de café. Asimismo, el filtro estaría funcionando más como un complemento a la remoción de SS del sedimentador que como un digestor, por esto la remoción de todo el sistema es alto en SS y muy bajo en DBO_5 , lo que demanda el rediseño de este componente.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos al simular en laboratorio el proceso de tratamiento de aguas residuales del beneficio del café, en las mismas condiciones de diseño y operación que comúnmente realizan los pequeños productores del sur del departamento del Huila, dejan claro que este tipo de sistemas compuestos por desnatador (sedimentador) y filtro (Lecho filtrante) presentan adecuados eficiencias de remoción de sólidos suspendidos, pero muy bajas eficiencias de remoción de DBO_5 , situación que plantea la necesidad de proponer nuevos sistemas de tratamiento o rediseñar los actuales sistemas, proponiendo de paso nuevas condiciones de operación.

Si se observan los resultados finales de remoción para sólidos suspendidos para el sistema completo (Desnatador-Filtro), se obtuvieron remociones de 99.06 ± 0.66 %, que corresponden a eficiencias muy altas; de igual forma, si se observa solo el sedimentador, los resultados de remoción son de 95.24 ± 2.97 %, lo cual indica que es en el sedimentador (Desnatador) donde se remueven los sólidos en suspensión y que el sistema de filtración no está funcionando de manera adecuada.

Como propuesta para completar la remoción de DBO_5 en los actuales sistemas construidos en las fincas productoras de café, sin necesidad de que los productores incurran en costos elevados, se podría

implementar un componente adicional que reciba y trate las aguas que salen del filtro. Dicho sistema podría ser un tratamiento biológico con alguna especie de macrófitas plantadas sobre un pequeño humedal. Es recomendable que previamente se rediseñe el lecho filtrante, aumentando el TRH para mejorar la remoción de DBO₅, y así evitar sobrecarga orgánica en el humedal

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Álvarez, J., Hugh S., Cuba N. & Loza-Murguía M. (2011). Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales del prebeneficiado de café (*Coffea arabica*) implementado en la comunidad Carmen Pampa provincia Nor Yungas del Departamento de La Paz. *Journal of the Selva Andina. Research Society*, 2 (1), 34-42.

Centro Nacional de Investigaciones de Café [CENICAFE]. (2011). Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana. Recuperado de http://www.cenicafe.org/es/.../PROPUESTA_P_A_CENICAFE_ABRIL13.pdf

Del Panta, L., Regio, G. & Gil, D. (2009). Estudio sistema de tratamiento de las aguas mieles en Salcedo República Dominicana. Recuperado, de http://cafeycaffee.org/web/index.php?option=com_content&view=article&id=105%3Aaguas-mieles-dominicana&catid=13%3Anotidominicana&lang=es

El Mabrouki, K., Castillo, A., Cabrera, J. & Cruz S. (1999). Algunos ensayos analíticos de laboratorio realizados utilizando toma muestras de succión cerámicos y de teflón con aguas residuales urbanas. En Muñoz-Carpena, R., Ritter, A. & Tascón, C. (eds.). *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*. (pp. 103-108). Tenerife: Instituto Canario de Investigaciones Agrarias.

Federación Nacional de Cafeteros [FNC]. (2005). Aspectos de calidad del café para la industria torrefactora nacional. Bogotá: Federación Nacional de Cafeteros. 290 p.

Gutiérrez G. N., Serra J. A. & Clemente G. (2009). Identificación de factores críticos para implantar buenas prácticas agrícolas. *Ingeniería e investigación*, 29, 109-114.

Gutiérrez, N., Pastrana, E., Leiva, M. P. & Marín, M. (2007). Infraestructura bajo el enfoque de una producción más limpia en el subsector cafetero. Neiva: Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena-Universidad Surcolombiana, 40 p.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MINAMBIENTE– (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=683&conID=2725>.

Orozco, C., Barrientos, H., Lopezlena, A., Cruz, J., Selvas, C., Osorio, E., Chávez, R., Miranda, J., Arellano, J. & Giesseman, B. (2005). Evaluación de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales del procesamiento del café: características químicas. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 5, 123-131.

Orozco, P. A. (2003) Arranque y puesta en marcha de un reactor metanogénico tipo UAF para el tratamiento de las aguas residuales del lavado del café. (Trabajo de pregrado, Ingeniería Química). Manizales: Universidad Nacional de Colombia. 95 p.

Yaksic, R. & Ramírez, R. (2005). Tratamiento de residuos de la planta de beneficiado de ALEACAF. Market Access and Poverty Alleviation. Recuperado, de http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNADK140.pdf

Rivera, N.R., Encina, F., Muñoz-Pedrerros, A. & Mejia, P. (2004). La Calidad de las Aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile. *Información Tecnológica*, 15, 89-101.

Rodríguez, V. N. (2009). Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas (Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. 595 p.

Scavo, M. (2004). Estudio de un sistema de tratamiento de aguas residuales

complementario, con pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides L.*), provenientes de una planta de producción de gaseosas, en Villa de Cura, estado Aragua”. (Tesis de Maestría Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía). Caracas: Universidad Central de Venezuela. 71 p.

Silva, S. M., Trujillo, J., Aguilar, L. G. & Hincapie, M. (2009). Tratamiento de contaminantes orgánicos por foto fenton con luz artificial. *Revista Ingenierías*, 8, 53-62.

Statgraphics Plus V. 5.0. 1992. Reference Manual, Manugistics Inc, Rockville, MD.