

CLUB DE LECTURA COMO ESTRATEGIA DE ESCRITURA

**EFICIENCIA DE FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE EN AGUAS
RESIDUALES DE LA GRANJA EXPERIMENTAL BOTANA**

MILVIA MARLEY MONCAYO LOAIZA

DANIELA GRIJALBA ZARAMA

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
SAN JUAN DE PASTO**

2017.

CLUB DE LECTURA COMO ESTRATEGIA DE ESCRITURA

**EFICIENCIA DE FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE EN AGUAS
RESIDUALES DE LA GRANJA EXPERIMENTAL BOTANA**

MILVIA MARLEY MONCAYO LOAIZA

DANIELA GRIJALBA ZARAMA

ASESOR:

JAMES ROSERO CARVAJAL

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

SAN JUAN DE PASTO

2017.

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor”

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE JURADO

PRESIDENTE JURADO

ASESOR

**EFICIENCIA DE FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE EN
AGUAS RESIDUALES DE LA GRANJA EXPERIMENTAL BOTANA¹.**

**EFFICIENCY OF UP FLOW ANAEROBIC FILTERS IN RESIDUAL WATERS OF
THE EXPERIMENTAL FARM BOTANA.**

Milvia Moncayo L², Daniela Grijalba Z³, James Rosero⁴

RESUMEN

Las aguas residuales generadas por las actividades pecuarias requieren tratamientos altamente eficientes, debido a que estos efluentes presentan altas cargas contaminantes; la aplicación de tecnologías como el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) ha tenido resultados exitosos en el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico e industrial, razón por la cual esta investigación se centra en evaluar la eficiencia de remoción de carga orgánica en FAFA para aguas provenientes de actividades pecuarias en la granja experimental Botana, Universidad de Nariño. Uno de los factores que afectan directamente el funcionamiento y la eficiencia de remoción es el tiempo de retención hidráulica (TRH), el cual se tuvo en cuenta como principal variable en los filtros. Se diseñaron y evaluaron cuatro filtros con diferentes TRH, utilizando escombros como medio de soporte y tratando un caudal de 0.002 m³/h en cada filtro; los parámetros evaluados fueron Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Demanda química de oxígeno (DQO) y Sólidos suspendidos totales (SST); como resultado de la investigación se obtuvo que los filtros alcanzan porcentajes de remoción superiores a 67% para DBO, 31% para DQO y 20% para SST, y sus concentraciones finales son acordes con la norma, sin embargo, se encontró que no hay diferencias significativas entre los tratamientos realizados por cada filtro, lo que

¹ Esta investigación hace parte del proyecto profesoral “Evaluación de Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente con materiales reciclables como medio filtrante para la remoción de carga orgánica en la Universidad de Nariño”.

² Estudiante del programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia, milvia00020@hotmail.com.

³ Estudiante del programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia, danielagrijalba1@gmail.com.

⁴ Docente del Departamento de Recursos Naturales y Sistemas Agroforestales, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia, jamesro0@hotmail.com.

llevó a considerar el factor económico como determinante para la elección de un TRH de cuatro horas como tiempo de retención óptimo para el tratamiento de las aguas residuales usadas en la investigación.

Palabras clave: concentración, remoción, tiempo de retención hidráulica.

ABSTRACT

The wastewater generated by livestock activities requires highly efficient treatments, because these effluents present high polluting loads; The application of technologies such as anaerobic upflow filter (FAFA) is a system that has been widely used for the treatment of domestic water as industrial, which is why this research focuses on evaluating the efficiency of removal of organic load In FAFA for water from livestock activities at the Botana experimental farm, University of Nariño. One of the factors that directly affect the operation and the efficiency of removal is the hydraulic retention time (HRT), which was taken into account as the main variable in the filters. Four filters with different TRH were designed and evaluated, using debris as a support medium and treating a flow rate of 0.002 m³ / h in each filter; The parameters evaluated were Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Suspended Solids (TSS); As a result of the investigation it was obtained that all the filters are technically efficient since they reach good removal rates and final concentrations according to the norm, however, it was found that there are no significant differences between the treatments performed by each filter, which it carry to consider the economic factor as determinant for the choice of a four-hour HRT as an optimal retention time for the treatment of wastewater used in the research.

Key words: Concentrations, removal, hydraulic retention time.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	7
MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
Fase I: Diseño de Filtros Anaeróbios de Flujo Ascendente.....	9
Fase II: Montaje y estabilización del sistema.....	9
Fase III: Muestreo y análisis de laboratorio	10
Fase IV: Análisis de resultados	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
Relación DBO/DQO.....	13
Análisis de remoción.	13
Análisis de concentraciones.....	15
Análisis de varianza.....	16
Prueba de normalidad.	16
Prueba de homogeneidad de varianzas	17
Independencia de las observaciones	18
Aplicación de la ANOVA.....	18
CONCLUSIONES.....	19
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

INTRODUCCIÓN

El manejo inadecuado de los vertimientos líquidos generados en un determinado proceso productivo, es el reflejo de muchas problemáticas ambientales ligadas al contacto entre dichos vertimientos y las fuentes hídricas receptoras de los mismos. Según Pérez, Pérez y Ravelo (2005), las aguas residuales producidas en las labores de producción, y en especial aquellas que provienen de actividades pecuarias, requieren tratamientos altamente eficientes, debido a que estos efluentes se generan en cantidades importantes, además de contener grandes proporciones de nutrientes y materia orgánica.

Una de las alternativas tecnológicas para el manejo de aguas residuales que ha tenido gran desarrollo en las últimas décadas han sido los tratamientos biológicos en ambientes anaerobios (Batero y Cruz, 2007). En contraste, para Serrano (2005), el éxito en la aplicabilidad de estas tecnologías ha evidenciado experiencias significativas en el tratamiento de efluentes domésticos e industriales, destacando la factibilidad del reactor anaerobio de flujo ascendente (FAFA), cuyo principio activo es la reducción de la carga contaminante por acción de la biomasa microbiana.

A nivel internacional, se tiene que Rivera *et al.* (2002), realizaron una investigación de la eficiencia de los FAFA en el tratamiento de efluentes de destilería de alcohol en Cuba, logrando una remoción de DQO superior al 65% para cargas orgánicas inferiores a 7,32 kg DQO/m³d a temperaturas entre 20 y 25°C. Por su parte, a escala nacional se tiene que Chavarro *et al.* (2006), elaboraron un estudio enfocado a evaluar la tratabilidad de los lixiviados en el relleno sanitario “La Glorita” de Pereira, alcanzando eficiencias de remoción de DQO entre el 60 y 90% para cargas con valores máximos de 10 kg DQO/m³d, con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 1,2 días.

Finalizando, se reporta a nivel regional, el trabajo de Cárdenas y Ramos (2009), centrado en la evaluación de la eficiencia de reactores utilizando aguas mieles residuales de trapiches artesanales paneleros en el Municipio de Sandoná, alcanzando una remoción de materia orgánica mayor al 80% con un TRH de 26 horas.

Por su parte, es importante considerar para el desarrollo de cualquier proceso investigativo se deben tener en cuenta factores de impacto que influyen en la remoción de carga contaminante en los filtros, destacando el tiempo de retención hidráulica, medio filtrante, temperatura, pH y configuración de los reactores (Alvarado, 2011). Cabe anotar, que el TRH es un parámetro que está directamente relacionado con la eficiencia de remoción del sistema, siendo contradictorio a dicha funcionalidad la escasez o casi nula determinación de un TRH establecido para cada proceso al momento de ejecutar tratamiento a efluentes. Por ende, el presente estudio contribuye a dar claridad y servir de guía para tomar una mejor decisión en cuanto a la escogencia del TRH apropiado para que el sistema logre los resultados esperados sin tener mayores inconvenientes.

La presente investigación tuvo como objetivo, evaluar la eficiencia de remoción de carga orgánica en filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA) para aguas residuales provenientes de actividades pecuarias de la granja Botana, Universidad de Nariño. Para lo cual, se implementó cuatro filtros con distintos tiempos de retención hidráulica (TRH); se identificó el TRH apropiado para el funcionamiento eficiente con las condiciones ambientales de la zona; y se determinó los porcentajes de remoción en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la granja experimental Botana de la Universidad de Nariño, ubicada en el corregimiento de Catambuco, municipio de Pasto, a $77^{\circ}18'58''$ de longitud oeste y $1^{\circ}10'11,4''$ de latitud norte, a una altura de 2820 msnm, y con una temperatura promedio de 12°C (Acosta y Tupáz, 2007).

La granja experimental Botana tiene un programa dedicado a la cría de ganado porcino y sus actividades generan aguas residuales que después de pasar por un tratamiento son vertidas en la quebrada Botana, que aguas abajo se une a la quebrada Miraflores (INSAGE, 2017).

La metodología para el desarrollo de la investigación comprendió cuatro fases:

Fase I: Diseño de Filtros Anaeróbios de Flujo Ascendente. Los FAFAs fueron diseñados de acuerdo con la metodología y parámetros propuestos en el Título E del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000 (vigente durante el periodo de diseño).

Inicialmente se determinó el número de filtros a construir, seguido del lugar de donde se tomaría el agua residual a tratar en los filtros, y se realizó la respectiva caracterización fisicoquímica de dicho afluente. Posteriormente, teniendo en cuenta los objetivos de la investigación se determinó que las dimensiones de los filtros serían iguales a excepción de la altura, la cual garantizó TRH diferentes para cada uno, el caudal y el medio filtrante fueron iguales para todos los FAFAs.

El medio filtrante fue elegido teniendo en cuenta que fuera un material estructuralmente resistente, biológica y químicamente inerte, y que tuviera un precio reducido, tal como lo recomienda Pinto y Chernicharo (1996, citado por Torres, Rodríguez y Uribe, 2003), además se consideró la porosidad y que fuera un material cuya vida útil haya terminado, con el fin de darle una nueva utilidad en este tratamiento.

Fase II: Montaje y estabilización del sistema. Inicialmente se realizó la recolección y adecuación del medio filtrante, para darle las características recomendadas por el RAS 2000, que sugiere tamaño entre 4 a 7cm (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Posteriormente, con el fin de acelerar el crecimiento bacteriano y el proceso de estabilización de los sistemas se realizó la inoculación del medio filtrante previamente a la construcción de los filtros (Universidad del Valle, *et al.*, 1987 citado en Chavarro *et al.*, 2006).

Finalmente se realizó el montaje de los filtros teniendo en cuenta el diseño ya realizado en la fase anterior, se inició su funcionamiento y con esto el proceso de estabilización de los sistemas.

Fase III: Muestreo y análisis de laboratorio. Se determinaron los parámetros a evaluar, el número y frecuencia de muestreos teniendo en cuenta el presupuesto asignado al proyecto y los horarios de recepción de muestras del Laboratorio de Análisis Químico y Aguas de la Universidad de Nariño, al cual fueron entregadas para su respectivo análisis fisicoquímico.

Los muestreos se realizaron siguiendo las recomendaciones establecidas por la norma técnica NTC-ISO 5667-2 (ICONTEC, 1995) y el laboratorio mencionado.

Fase IV: Análisis de resultados. Inicialmente se determinó la relación DBO/DQO como indicador de la biodegradabilidad del agua residual a tratar y luego, se analizaron los porcentajes de remoción y las concentraciones de salida del agua residual después del tratamiento en cada filtro con ayuda del software Excel 2010.

Posteriormente, con el fin de encontrar diferencias significativas entre los filtros, se realizó un análisis de varianza ANOVA con sus respectivas pruebas de normalidad (Prueba de Kolmogorov-Smirnov), homogeneidad de varianzas (Prueba de Levene) e independencia de las observaciones, pruebas que representan requisitos para la aplicación de esta herramienta (Boqué y Maroto, 2004), estas pruebas se realizaron en el software estadístico SPSS.

Debido a que la normatividad ambiental vigente en relación a vertimientos trata sobre las concentraciones máximas permitidas en un vertimiento, los datos para realizar esta prueba fueron los de las concentraciones obtenidas en el agua después del tratamiento en los filtros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de la investigación se obtuvo los datos de caracterización del agua residual a la salida de la PTAR los cuales se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1. Caracterización agua residual de salida PTAR Botana

Parámetro	Concentración (mg/L)
DBO	203,58
DQO	415
SST	36,89

La construcción de los filtros se realizó en tubo PVC de 6", cuyas características brindaron dimensiones iguales para los cuatro filtros, sin embargo, para dar cumplimiento a los objetivos de la investigación, la única dimensión diferente para cada filtro es la altura, con el fin de tener tiempos de retención hidráulica diferentes, todos ellos dentro del rango propuesto por el RAS 2000, de 2,5 a 12 horas (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000); así mismo el caudal de entrada es el mismo para todos los filtros; las dimensiones y parámetros se relacionan en la tabla 2:

Tabla 2. Dimensiones y parámetros de diseño de FAFA.

Filtros	Caudal (m ³ /h)	Área superficial (m ²)	Altura (m)	Tiempo de retención hidráulica (h)
1	0,002	0,02	0,6	4,03
2			0,9	6,04
3			1,2	8,05
4			1,5	10,07

Las alturas consignadas en la Tabla 2 representan la altura del medio filtrante, a la cual se suman 0,45m para obtener la altura total del filtro, este valor se debe a la zona ubicada entre el fondo y falso fondo del filtro, la zona clarificadora y la zona libre donde circulan los gases generados, cada una con 0,15m de altura como se presenta en la Figura 1.

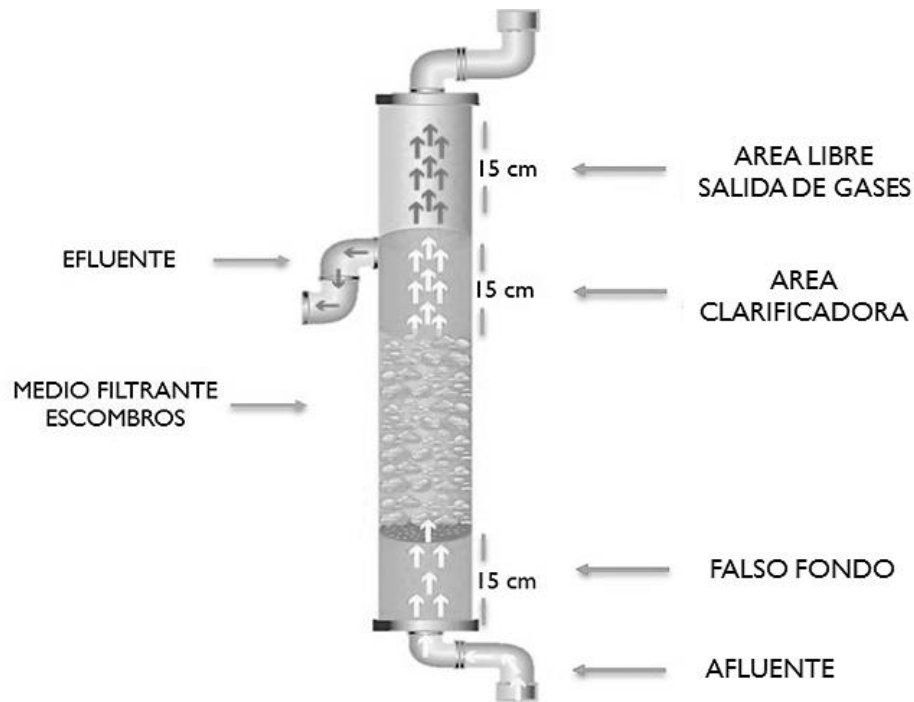


Figura 1. Esquema filtro anaerobio de flujo ascendente.

Como se mencionó anteriormente los filtros fueron construidos con tubo PVC de 6", el falso fondo se realizó con tapas de recipientes de pintura perforadas, se introdujo el medio filtrante inoculado previamente, la salida del agua se realizó por medio de manguera de 1", los filtros fueron sellados herméticamente con tapones de 6" y para la salida de gases se ubicó una manguera cuyo extremo libre fue sumergido en agua para garantizar las condiciones anaerobias de los filtros (Vignesh *et al.*; 2017), la red de distribución del agua fue elaborada con tubo PVC de 0,5" y sus respectivos accesorios (codos, tees, bujes, válvulas entre otros).

Una vez construidos los filtros se conectaron a la red de distribución para iniciar su funcionamiento y comenzar el proceso de estabilización, el cual tuvo una duración de un mes tal como lo recomienda Osorio y Vásquez (2007), desde este momento el caudal de los filtros fue calibrado constantemente para mantener las condiciones de diseño y garantizar su correcto funcionamiento (Pinzón y Almeida, 2010). El montaje del sistema se muestra en la figura 2.

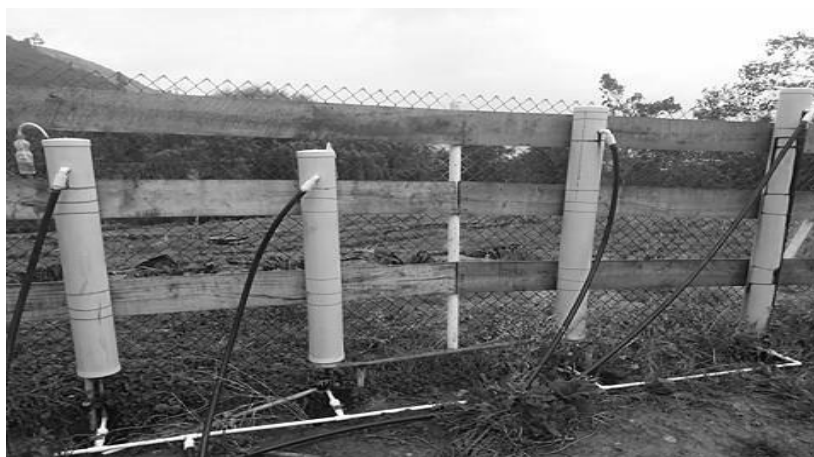


Figura 2. Montaje de los filtros anaerobios de flujo ascendente

Relación DBO/DQO. Según los datos obtenidos en la caracterización se realizó una prueba cuantitativa de biodegradabilidad del afluente a tratar, la cual está dada por la relación de la DQO y la DBO₅, determinando si las aguas residuales son baja, mediana o altamente biodegradables.

Como resultado de esta prueba se obtuvo que el tipo de aguas residuales a tratar son altamente biodegradables, la relación entre las dos variables dio como resultado 2,03, lo cual se ajusta al rango establecido, donde se indica que si el valor obtenido es menor a 2,5 el afluente o compuesto es biodegradable, considerándose apropiada para tratamientos biológicos como el estudiado en esta investigación, permitiendo que las aguas residuales puedan ser depuradas por medio de microorganismos, quienes utilizan estas sustancias como alimento y fuente de energía para su metabolismo y reproducción (Pire *et al.*, 2011).

Análisis de remoción. En la tabla 3 se presentan los promedios de los porcentajes de remoción obtenidos para cada filtro y su respectiva gráfica:

Tabla 3. Promedios de porcentajes de remoción de los FAFA.

Filtros	1	2	3	4
DBO	67,82%	67,69%	70,17%	71,61%
DQO	32,76%	33,29%	31,12%	37,50%
SST	20,26%	25,41%	28,62%	27,26%

En la figura 3 se presentan los promedios de porcentaje de remoción obtenidos por los 4 filtros durante las 11 semanas de estudio, como se puede observar, los porcentajes en cuanto a DBO_5 son directamente proporcionales al tiempo de retención de cada uno de los filtros, y sus valores superan el 65%; determinando que los porcentajes alcanzados se ajustan a lo estipulado en la resolución 330 del 2017 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017), donde se describe que el rango de eficiencia en los procesos de tratamiento de reactores debe ser entre 65% y 80% para DBO_5 , además es importante tener en cuenta que se está trabajando con un reactor biológico y que la DBO_5 va en función de esa remoción biológica, por consiguiente existe una tendencia a obtener mejores rendimientos de eliminación operando con elevados tiempos de retención hidráulica (Balaguer, 2010).

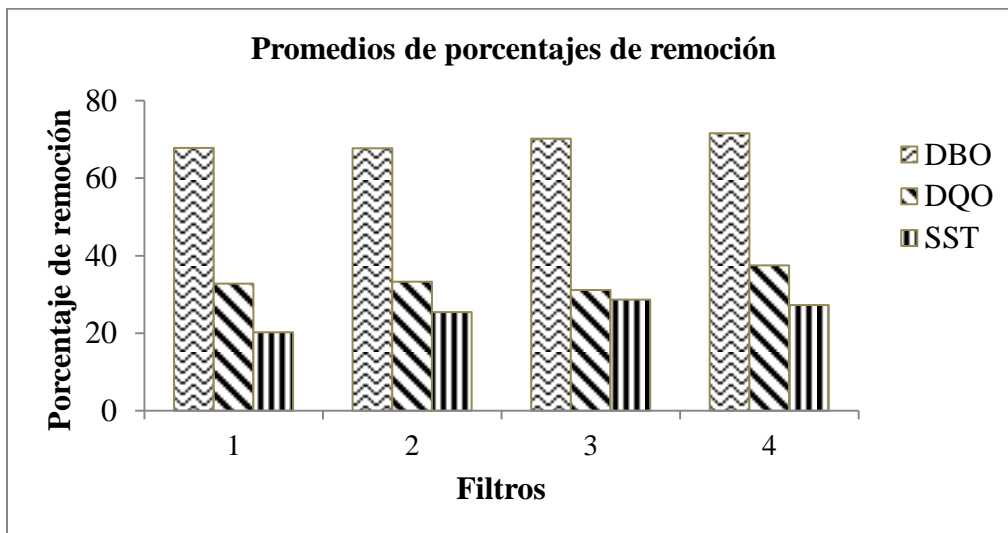


Figura 3. Promedios de porcentajes de remoción de los FAFA

Sin embargo, para DQO no hay linealidad en los datos de remoción, alcanzando promedios entre 31,12% y 37,50%; aunque los resultados alcanzados son menores a los obtenidos para la DBO_5 , se ajustan a lo expuesto por Torres *et al.*, (2003), quienes trabajaron con ladrillo como medio filtrante y obtuvieron porcentajes similares, además de lo expresado por Batero y Cruz (2007), quienes obtuvieron resultados afines al emplear un TRH de 12 horas, datos que se acercan al TRH empleado para el cuarto filtro. Por otra parte es importante

mencionar que la temperatura de la zona donde se realizó la investigación oscila entre los 12°C, y ya que este es un factor influyente en el sistema de tratamiento biológico, altera la velocidad de las reacciones de tal forma que, la actividad metabólica de los microorganismos que intervienen en cualquier proceso biológico disminuye cuando lo hace la temperatura, provocando una disminución en la eficiencia de eliminación de DQO (Gimenez, 2014).

Igualmente sucede para los promedios obtenidos para SST, donde los valores varían constantemente para todos los filtros y el promedio máximo de remoción alcanzado es 28,62%, como se muestra en la tabla 3; una de las razones por las que posiblemente este parámetro fue afectado, es por la saturación que se pudo presentar en los filtros, ya que a mayor tiempo de retención hidráulica, existe mayor posibilidad de acumulación de sólidos en el medio filtrante y puede ocasionar el desprendimiento de partículas sólidas, lo que causa una disminución en la remoción de sólidos, razón por la cual es importante llevar a cabo un mantenimiento constante de los filtros, realizando remoción de natas, sólidos, sobrenadantes y evitar la colmatación del filtro (Batero y Cruz, 2007).

Análisis de concentraciones. En la figura 4, se representan los promedios de concentración obtenidos para cada filtro en las diferentes variables fisicoquímicas monitoreadas; se encontró concentraciones más bajas para SST, seguido de la DBO₅ y por último la DQO presentando concentraciones mayores con respecto a los demás parámetros.

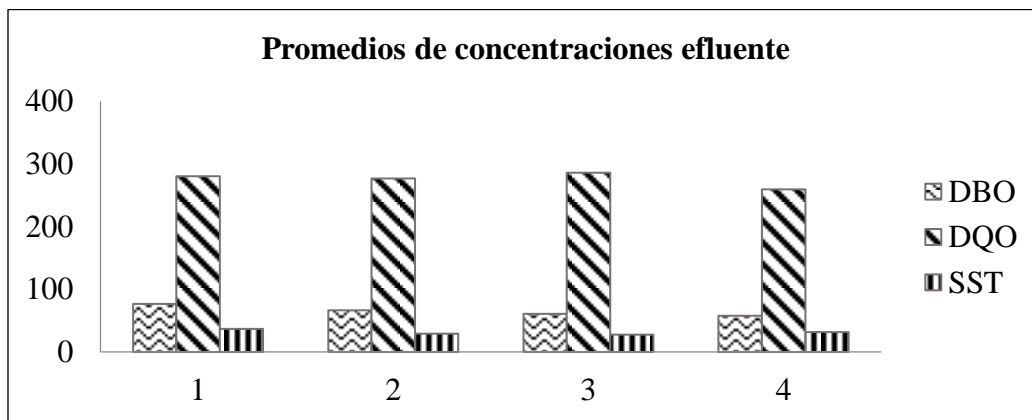


Figura 4. Comportamiento de las concentraciones en los efluentes

En esta grafica se puede identificar que los promedios de DBO_5 para los cuatro filtros son bastante similares, determinando que el tiempo de retención utilizado para cada uno, no influye notoriamente en los resultados de las concentraciones de salida de los filtros, lo mismo sucede para DQO y SST.

Teniendo en cuenta la resolución 631 del 2015, que establece los límites máximos permisibles en los vertimientos, se puede determinar que los valores de concentración en los efluentes de cada filtro se encuentran por debajo de los límites establecidos por esta norma, siendo estos 450 mg/L para DBO_5 , 900 mg/L para DQO y 400 mg/L para SST (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Análisis de varianza

El análisis de varianza ANOVA permitió comparar varios grupos en una variable cuantitativa y encontrar diferencias en las medias de dichos grupos (Bakieva, González y Jornet, 2012). Para lo cual se verifico el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de las observaciones, sus resultados se presentan a continuación:

Prueba de normalidad. Se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov con el fin de determinar la normalidad de los datos, como requisito previo a la aplicación del análisis de varianza.

Como se puede observar en la Tabla 4 la distribución de los datos para DQO es normal, ya que los p-valor están sobre el nivel de significación (0,05), caso contrario de la DBO_5 y SST cuyos p-valor muestran que la distribución no es normal al tener al menos un dato por debajo del nivel de significancia.

Tabla 4. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov

Parámetro	Filtro	Kolmogorov-Smirnov		
		Estadístico	gl	p-valor
DBO ₅	1,00	0,320	11	0,002
	2,00	0,236	11	0,087
	3,00	0,318	11	0,003
	4,00	0,267	11	0,027
DQO	1,00	0,196	11	0,200
	2,00	0,148	11	0,200
	3,00	0,142	11	0,200
	4,00	0,243	11	0,069
SST	1,00	0,198	11	0,200
	2,00	0,154	11	0,200
	3,00	0,224	11	0,131
	4,00	0,264	11	0,031

Prueba de homogeneidad de varianzas. Esta prueba se realizó utilizando el estadístico de Levene (Tabla 5), con el fin de identificar si las varianzas entre filtros para cada parámetros son diferentes o no.

Tabla 5. Prueba de homogeneidad de varianzas - Levene

Prueba de homogeneidad de varianzas				
Parámetro	Estadístico de Levene	gl1	gl2	p-valor
DBO ₅	0,675	3	40	0,573
DQO	0,193	3	40	0,901
SST	1,070	3	40	0,373

De los valores reportados por la prueba de Levene se puede identificar que existe homogeneidad de varianzas para los datos, ya que el p-valor de cada parámetro es mayor a 0,05 que es el nivel de significancia.

Independencia de las observaciones. Debido a que las concentraciones del efluente de los filtros son resultado de análisis de muestras diferentes se puede afirmar que hay independencia de las observaciones, es decir, este supuesto si se cumple.

Una vez verificado que la mayoría de los supuestos se cumplen, se puede afirmar que la ANOVA es una herramienta que se puede utilizar para resolver la hipótesis.

Aplicación de la ANOVA. Para el análisis de varianza se formularon las siguientes hipótesis:

Hipotesis₀ = No existen diferencias significativas entre tratamientos

Hipotesis₁ = Existen diferencias significativas entre tratamientos

La ANOVA se aplicó con un nivel de significancia de 0,05 como lo sugiere la APHA AWWA y WEF (2014, citados por Gora, 2017), los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6:

Tabla 6. Resultados análisis de varianza ANOVA

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
DBO₅	Inter-grupos	2259,427	3	753,142	0,212	0,887
	Intra-grupos	141992,897	40	3549,822		
	Total	144252,324	43			
DQO	Inter-grupos	4451,273	3	1483,758	0,248	0,862
	Intra-grupos	239285,455	40	5982,136		
	Total	243736,727	43			
SST	Inter-grupos	545,244	3	181,748	0,669	0,576
	Intra-grupos	10869,000	40	271,725		
	Total	11414,244	43			

Como se puede observar en la tabla 6 el p-valor para cada uno de los parámetros es mayor a 0,05, lo que quiere decir que se acepta la hipótesis nula, afirmando que no existen

diferencias significativas entre los filtros, es decir, que en este caso el tiempo de retención hidráulica no representa un factor diferencial en cuanto a las concentraciones de salida de los filtros, como ya se había identificado en el análisis de concentraciones.

Finalmente se realizó un análisis global de los promedios de remoción y concentraciones finales obtenidos por el sistema de filtros, y se determinó que las diferencias entre los valores de cada variable en los cuatro filtros no son muy significativas, por lo tanto se debe considerar como factor determinante la eficiencia económica, siendo viable tener en cuenta los parámetros de diseño empleados para el filtro 1, el cual tuvo un tiempo de retención hidráulica de 4 horas, ya que al tener un TRH bajo se requiere menores volúmenes en los filtros, lo que resulta en menor cantidad de materiales de construcción y por lo tanto menor generación de costos.

CONCLUSIONES

Los FAFA son una alternativa como sistema de tratamiento secundario para las aguas residuales de origen pecuario, demostrando eficiencias en la remoción, con temperaturas que oscilan entre los 12°C como las que se presentan en la zona de estudio.

La remoción realizada por los filtros se ve directamente influenciada por el tiempo de retención hidráulica en términos de DBO₅, a mayor TRH mayor remoción, sin embargo para los parámetros de DQO y SST no se presentan las mismas condiciones.

Las concentraciones de los efluentes de cada filtro cumplen con los valores exigidos por la normatividad ambiental vigente.

El tiempo de retención hidráulica no represento un factor diferencial en las concentraciones de las variables fisicoquímicas monitoreadas.

Considerando la eficiencia económica es viable tomar un tiempo de retención de cuatro horas, ya que se requiere menores volúmenes en los filtros, lo que resulta en menor cantidad de materiales de construcción y por lo tanto menor generación de costos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, J.; TUPÁZ, F. 2007. Cuantificación de la captura de carbono por la biomasa aérea de aliso (*Alnus Jorullensis* h.b.k.) en dos arreglos agroforestales de la granja experimental Botana Universidad de Nariño, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño. Tesis de pregrado. Universidad de Nariño.

ALVARADO, A. 2011. Evaluación de materiales de desecho como medio filtrante en filtros anaerobios de flujo ascendente. Tesis de pregrado. Instituto tecnológico de costa rica. Cartago, Costa Rica. 60 p.

BAKIEVA, M.; GONZÁLEZ, J.; JORNET, J. 2012. SPSS: ANOVA de un Factor. InnovaMIDE, Grupo de Innovación Educativa. Universidad de Valencia. España. 7 p.

BALAGUER, E. 2010. Estudio de la influencia del tiempo de retención hidráulico en un reactor biológico secuencial (SBR) de depuración de aguas residuales procedentes de una tenería y optimización de la fase de sedimentación. Tesis de maestría. Universidad de Valencia. España. 111 p.

BATERO, Y; CRUZ, E. 2007. Evaluación de filtros anaerobios de flujo ascendente con medio de soporte en guadas para la remoción de materia orgánica de un agua residual sintética. Tesis de pregrado. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. 71 p.

BOQUÉ, R.; MAROTO, A. 2004. El análisis de la varianza (ANOVA). Comparación de múltiples poblaciones. Grupo de Quimiometría y Cualimetría. Universidad Rovira i Virgili. Tarragona, España.

CÁRDENAS, G; RAMOS, R. 2009. Evaluación de la eficiencia de reactores de lecho fijo utilizando aguas mieles residuales de trapiches artesanales. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 19(1):25 - 38

CHAVARRO, M.; GARCÉS, J.; GUERRERO, J.; SALAS, Q. 2006. Evaluación de la tratabilidad de los lixiviados en el relleno sanitario de Pereira mediante filtros anaerobios de flujo ascendente a escala piloto. *Revista Scientia et Technica*. 12(30):390 – 404.

GIMENEZ, J. 2014. Estudio del tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas en birreactores de membranas. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. España.

GORA, J. 2017. Estudio del comportamiento hidrodinámico y remoción de contaminantes del humedal de flujo subsuperficial ubicado en la sede Alvernia Universidad Mariana. Tesis de pregrado. Universidad Mariana. Pasto, Colombia.

INSAGE. 2017. Gestión del riesgo y evaluación ambiental del vertimiento. Proyecto: Granja Experimental Botana Universidad de Nariño. Pasto. Colombia.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC. (1995). Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667–2. Gestión Ambiental. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas Generales de Muestreo. Bogotá D.C. Colombia.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2015. Resolución 631. Bogotá D.C. Colombia.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. 2000. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), Título E, Tratamiento de aguas residuales. p. 10, 85.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. 2017. Resolución 330. Bogotá D.C. Colombia.

OSORIO, A.; VÁSQUEZ, J. 2007. Evaluación de la remoción de la materia orgánica en filtros anaerobios de flujo ascendente utilizando aguas residuales sintéticas. Facultad de Tecnología. Universidad Tecnológica de Pereira. 46 p.

PÉREZ, T; PÉREZ, J; RAVELO, D. 2005. Qué podemos hacer los productores del sector pecuario a favor del medio ambiente. *Revista Gestión y Ambiente*. 8(1):147 - 150.

PINZÓN, L.; ALMEIDA, O. 2010. Diseño, construcción y puesta en marcha de un modelo de tratamiento para las aguas residuales generadas en la producción de panela. Tesis de pregrado. Universidad Industrial de Santander. 173 p.

PIRE, M; RODRÍGUEZ, K; FUENMAYOR, M; FUENMAYOR, Y; ACEVEDO, H; CARRASQUERO, S; DÍAZ A. 2011. Biodegradabilidad de las diferentes fracciones de agua residual producidas en una tenería. Revista ciencia e ingeniería neogranadina. 21(2): 5-19.

RIVERA, A; GONZÁLES, J; CASTRO, R; GUERRERO, B; NIEVES, G. 2002. Tratamiento de efluentes de destilería en un filtro anaerobio de flujo ascendente. Revista internacional de contaminación ambiental. 18(3):131 - 137.

SERRANO, H. 2005. Evaluación ambiental y sanitaria de dos sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales por medio de la construcción de prototipos en escala natural. Tesis de pregrado. Universidad de Costa Rica. San José, C.R.

TORRES, P.; RODRÍGUEZ, J; URIBE, I. 2003. Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: influencia del medio de soporte. Revista Scientia et Technica. 9(23):75 - 80.

VIGNESH, P.; SEENIRAJAN, M.; BIPIN, K.; KESHAV, P.; SUBHASH, C. 2017. Treatment of Dairy Wastewater Using Up flow Anaerobic Filter. SSRG International Journal of Mechanical Engineering. 2348 - 8360.