

EVALUACIÓN DE LA TRATABILIDAD DE LOS LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE PEREIRA MEDIANTE FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE A ESCALA PILOTO

RESUMEN

En esta investigación, se evaluó el arranque y operación de los filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA) a escala piloto para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario "La Glorita" de la ciudad de Pereira, utilizando guadua como medio de soporte para el crecimiento bacteriano. Las eficiencias de remoción de DQO obtenidas presentaron valores entre el 60 y 90% para cargas con valores máximos de 10 kgDQO/m³d, y un TRH de 1.2 días. También se alcanzaron valores de AGV inferiores a 30 meq/L, así como el índice buffer se comportó en un rango por debajo de 0.5.

PALABRAS CLAVES: Lixiviado, FAFA, Relleno Sanitario, Medio Filtrante

ABSTRACT

This research, evaluates the start-up and operation of the upflow anaerobic filter (UAF) in pilot-scale in order to landfill leachate treatment that comes from Pereira's "la Glorita" landfill, using guadua like half of support for the bacterial growth. A COD removal between 60 and 90% was obtained with a hydraulic retention time of 1.2 d and a maxim organic load of 10 KgCOD/m³d. The volatile fatty acids values obtained were under 30 meq/L.

KEYWORDS: Leachate, UAF, landfill, filter media.

MAURICIO CHAVARRO

Ingeniero Ambiental
Universidad Libre de Pereira
mao_11@argentina.com

JUAN P. GARCES

Ingeniero Ambiental
Universidad Libre de Pereira
juanpis_09@argentina.com

JHONIERS GUERRERO

Dr. Ingeniero Sanitario, Ms.C,
Profesor Asociado
Universidad Tecnológica de Pereira
jhguerre@utp.edu.co

DIANA SALAS Q.

Ingeniera Sanitaria
Profesora Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
disaqui@yahoo.es

1. INTRODUCCIÓN

Los rellenos sanitarios, concebidos como una solución definitiva para el problema de los residuos domiciliarios, se convirtieron, con el correr de los años, en un nuevo problema que amerita una discusión profunda sobre cuáles deberían ser las verdaderas estrategias para encarar la gestión de los desechos sólidos.

De los rellenos sanitarios se desprende gases así como también contaminantes a través de los líquidos que migran del relleno hacia el suelo, conocidos como lixiviados.

Los lixiviados son líquidos oscuros que se producen por la descomposición de la materia orgánica y el agua que entra al relleno por la precipitación, los cuales al fluir, disuelven sustancias y arrastran partículas contenidas en los residuos.

La composición de los lixiviados varía mucho de acuerdo con el tipo de residuos, las precipitaciones en el área, las velocidades de descomposición química y otras condiciones del lugar, pero todos coinciden poseer una alta carga orgánica (Agudelo, 1998; Borzacconi et al, 1994; Schroeder et al, 1994; SYED, 1994).

El relleno sanitario de la ciudad de Pereira "La Glorita" presenta problemas ambientales debido a que los lixiviados son vertidos a las fuentes hídricas que

abastecen los abrevaderos de ganado en los predios aledaños, causando enfermedades y pérdidas para los dueños; además se debe tener en cuenta que el río Otún, que es donde finalmente se vierten estos líquidos tóxicos, es una fuente hídrica que alberga gran variedad de ecosistemas acuáticos; es por esto que se hace realmente importante que se realicen estudios que conlleven al mejoramiento de las condiciones del lixiviado vertido.

Estudios como el de Ramos (1998) y Osorio (1994) demuestran que el sistema de filtros anaerobios de flujo ascendente con aros de guadua como medio de soporte, representa una buena alternativa para el tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario de Pereira, sin embargo debido a la composición de estos y a las eficiencias normalmente alcanzadas por este tipo de sistema de tratamiento, aún se requiere de un tratamiento complementario para mejorar la calidad del vertimiento final.

Esta investigación hace parte del proyecto "Fitoremediación de lixiviados de rellenos sanitarios", cuyo objetivo general es el de estudiar y evaluar a escalas laboratorio y piloto la Fitoremediación como alternativa técnica y económica para el tratamiento de los lixiviados generados en rellenos sanitarios. Dicho proyecto es financiado por Colciencias, y se desarrolla mediante colaboración y apoyo entre la Universidad Tecnológica de Pereira, el Centro de Investigaciones Ambientales de

Leipzig - Halle, Alemania (UFZ Leipzig - Halle) y la Empresa de Aseo de Pereira.

2. METODOLOGÍA

2.1 MONTAJE EXPERIMENTAL

Como se esquematiza en la figura 1, se manejaron tres unidades experimentales de filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA), denominadas como Línea de Tratamiento No. 1 o FAFA 1, Línea de Tratamiento No. 2 o FAFA 2 y Línea de Tratamiento No. 3 o FAFA 3, en los cuales se usó aros de guadua como medio de soporte para el crecimiento bacteriano, construidos con tubería PVC de 6" de diámetro; dos filtros se operaron de forma individual, presentando iguales características de diseño con un volumen efectivo de 19.15 L y altura de medio filtrante igual a 1.5 m; estas unidades diferían en la forma de alimentación ya que uno de ellos se alimentó con sustrato normal y el otro con sustrato con ajuste de pH; la tercera unidad experimental se diseñó en serie utilizando sustrato con ajuste de pH, cada unidad contó con una altura de medio filtrante de 1 m y un volumen efectivo de 25.54 L total.

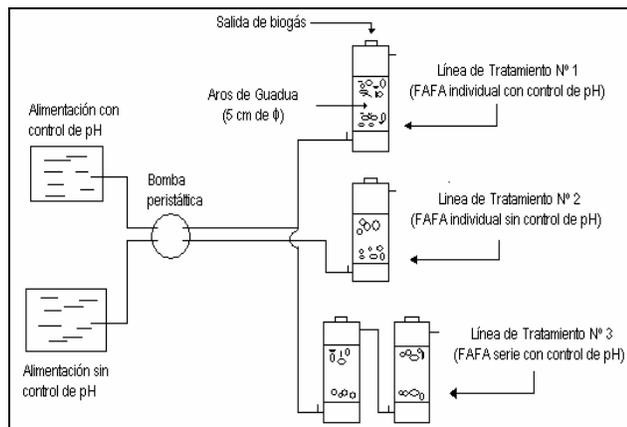


Figura 1. Esquema general reactores FAFA.

La alimentación de los tres sistemas se realizó a través de una bomba peristáltica la cual impulsó el sustrato desde el tanque de almacenamiento hasta la entrada a cada reactor, en la parte inferior de las columnas.

2.2 SUSTRATO UTILIZADO

El sustrato utilizado en la investigación es el lixiviado proveniente del relleno sanitario de la ciudad de Pereira correspondiente a los vasos dos y tres, con edades de cuatro y un año respectivamente. En la tabla 1 se puede observar las características del lixiviado.

Parámetros	Media +/- LC	Coef. de Variación (%)
DQO	8629.17 +/- 3211.67 mg/l O ₂	86.06
DBO ₅	430.81 +/- 28.81 mg OD/l	49.86
DBO ₅ /DQO	0.12 +/- 0.013	79.15
Alcalinidad	7860.50 +/- 1101.98 mgCaCO ₃ /l	29.96
Fósforo	178.86 +/- 34.10 mg/l	41.88
Sulfatos	330.05 +/- 116.64 mg/l	63.81
SST	390.13 +/- 101.60 mg/l	48.88
Calcio	721.80 +/- 218.46 mg/l	52.43
Cromo	0.59 +/- 0.07 mg/l	19.50
Hierro	7.36 +/- 1.52 mg/l	35.82
Magnesio	107.23 +/- 35.27 mg/l	48.88
Níquel	0.16 +/- 0.05 mg/l	50.83
Zinc	0.70 +/- 0.10 mg/l	21.51
pH	8.10 +/- 0.34	9.06
Dureza total	383.33 +/- 134.25 mg CaCO ₃ /l	52.77
N Total	346.52 +/- 145.58 mg/l	94.74
N amoniacal	272.17 +/- 111.72 mg/l	92.56
Temperatura	27.07 +/- 3.89 °C	21.38

Tabla 1. Caracterización del lixiviado

Para los sistemas que se trabajaron con ajuste de pH se usó ácido muriático hasta obtener un rango entre 6,5 y 7,0 unidades.

2.3 SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LODOS DE DIVERSAS FUENTES PARA LA INOCULACIÓN DE LOS SISTEMAS EVALUADOS

Para la selección del inóculo, se estudiaron diferentes tipos de lodos provenientes de sistemas de tratamiento biológico empleados por diversas empresas e instituciones de la región para el tratamiento de sus aguas residuales, también se realizaron combinaciones en relación 1:1. Las características de los lodos se presentan en las tablas 2 y 3.

ENTIDAD	TIPO DE LODO	SISTEMA DE TRATAMIENTO
U.T.P	Aerobio	Lodos Activados
Matadero	Aerobio	Lodos Activados
Gaseosas Lux	Anaerobio	UASB

Tabla 2. Lodos disponibles para evaluación

COMBINACIÓN	SISTEMA DE
U.T.P – Matadero	Lodos activados
U.T.P – Gaseosas Lux	Lodos activados – UASB
Matadero – Gaseosas	Lodos Activados – UASB

Tabla 3. Combinaciones de lodos

Las mejores características de Sedimentabilidad, Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) y Actividad Metanogénica Específica (AME), se presentaron en el lodo granular

proveniente del reactor UASB de la empresa gaseosas Lux, tal y como se reporta en la tabla 4, siendo éste el lodo usado como semilla para los reactores.

Tipo de lodo	AME (gDQO/gSSV.d)	Sedimentab (m/h)	SSV (mg/l)	SSV/SST
Gaseosas LUX	0.130	5.21	36115	0.57
Matadero	0.097	3.58	6298	0.28
PTAR (UTP)	0.127	1.82	5225	0.29
LUX / Matadero	0.129	4.77	21120	0.43
LUX/PTAR	0.118	1.77	5974	0.40
Matadero/PTAR	0.118	2.37	5550	0.28

Tabla 4. Selección de lodo para inoculación

2.4 PARAMETROS EVALUADOS

En la evaluación del arranque y operación de los sistemas, se efectuó un control cuidadoso a través del tiempo (6 meses), mediante el seguimiento de los parámetros listados en las tablas 5 y 6.

PARAMETRO	FRECUENCIA
TRH	Diario
Producción de biogás	Diario
% de remoción de DQO	Diario
Carga aplicada	Cada 3 días

Tabla 5. Control del proceso

PARAMETRO	FRECUENCIA
pH	Diario
Temperatura	Diario
DQO	Diario
SST y SSV	Semanal
AGV	Diario
Nutrientes	Mensual
Índice Buffer	Diario
Alcalinidad	Diario

Tabla 6. Control del reactor

Algunos de estos parámetros se midieron in situ, tales como pH, temperatura, producción de biogás, así como el seguimiento al caudal de entrada a los sistemas. Los demás parámetros fueron realizados en el Laboratorio de Procesos de la Facultad de Ciencias Ambientales de la UTP, según las frecuencias indicadas, empleando los métodos establecidos en los estándar métodos (1995).

2.5 INOCULACIÓN Y ACLIMATACIÓN DEL LODO

La metodología usada para la inoculación, aclimatación, arranque y operación de los sistemas corresponde a la reportada en el manual de arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodos -UASB- de la Universidad del Valle, (1987).

Para la inoculación, la cantidad de lodo utilizado fue del 60% del volumen total de cada reactor, el 40% del volumen faltante se completó con lixiviado crudo (sustrato) del relleno sanitario de Pereira.

Una vez introducido el lodo a los reactores, se inicia con la etapa de aclimatación, la cual se llevó a cabo en un periodo de quince días, tiempo durante el cual los sistemas no fueron alimentados, esto con el fin de propiciar la estabilización y adaptación del lodo al sustrato. Esta etapa se consideró terminada, cuando los parámetros de control mostraron condiciones estables y las eficiencias de remoción de DQO fueron superiores al 30% (FAFA No. 1, 40%; FAFA No. 2, 78.48%; FAFA No. 3, 32.91%).

2.6 ARRANQUE DE LOS SISTEMAS

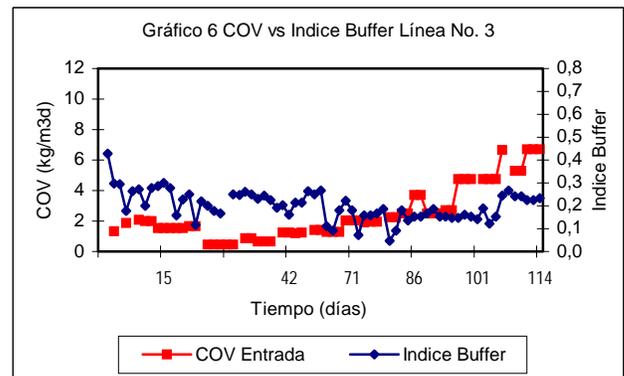
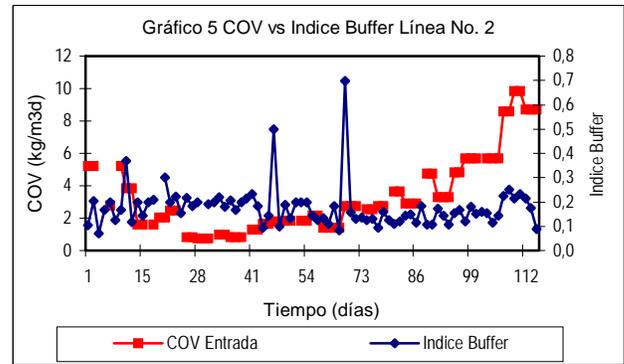
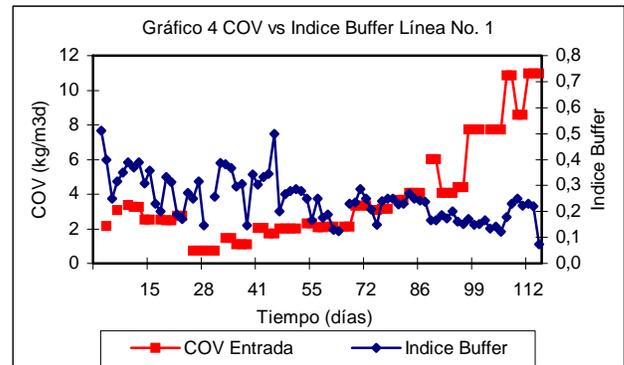
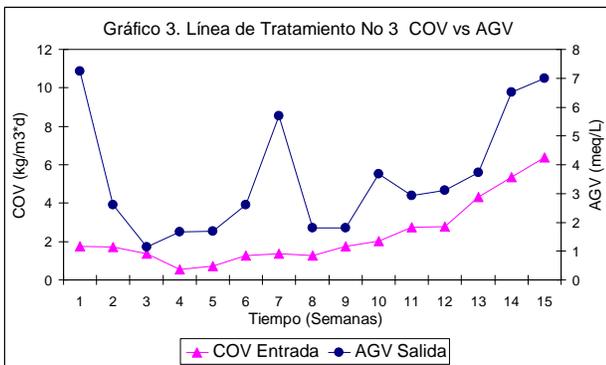
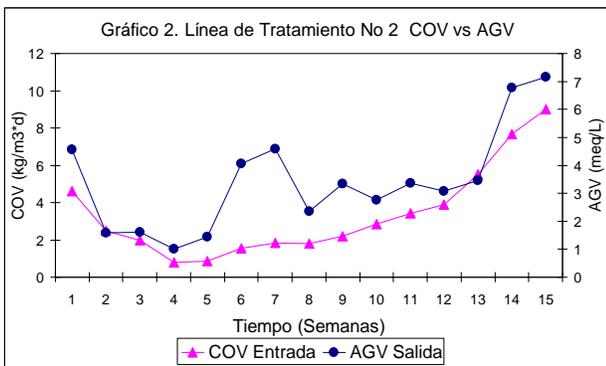
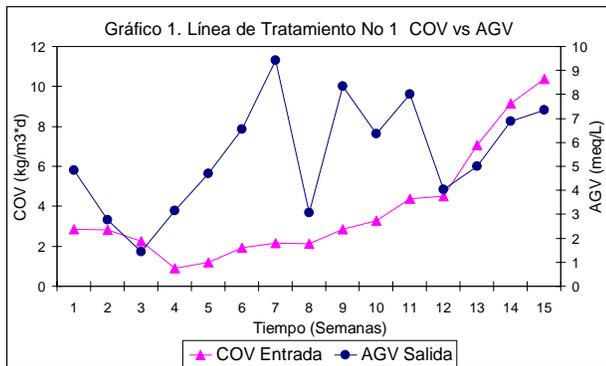
Esta etapa tuvo una duración aproximada de 15 semanas, periodo durante el cual los sistemas fueron alimentados sin recirculación. Se inició alimentando los reactores con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de veinticuatro horas y una carga orgánica volumétrica (COV ó carga aplicada) de 2 Kg.DQO/m³.d. En cada incremento de COV, se mantuvo constante el TRH, de tal manera que los caudales de entrada y velocidades ascensionales promedio fueron, respectivamente: para los FAFA 1 y 2 13.3 ml/min y 1.22 x 10⁻³ cm/s, y para el FAFA 3 14.3 ml/min y 1.31 x 10⁻³ cm/s. Cuando los sistemas mostraban condiciones estables en los parámetros de control evaluados por algún tiempo (4 a 5 días), y las eficiencias de remoción de DQO eran iguales o superiores al 70%, se procedía al siguiente aumento de carga. El manejo de la carga se hizo mediante diluciones del lixiviado con agua del acueducto veredal del sector de Combia. Inicialmente dichos incrementos fueron alrededor del 20%, en la medida que los sistemas se estabilizaron se pudo hacer incrementos hasta del 50%.

3. EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS

Así como se registra en el Manual de Arranque y Operación de Reactores UASB (Universidad del Valle et al, 1987), las etapas de inoculación y aclimatación permitieron acelerar el proceso de adaptación del lodo al sustrato, de tal manera que se pudo dar inicio a la operación de los sistemas (etapa de arranque) en un periodo relativamente corto (2 semanas), y con unas eficiencias de remoción de DQO superiores al 30%.

Los gráficos 1, 2 y 3 muestran el comportamiento de los AGV's con respecto a los incrementos de COV durante la operación de las diferentes líneas de tratamiento. En el arranque de los sistemas, los valores de AGV de hasta 10 meq/L (Línea N° 1) indican la inestabilidad de los mismos; sin embargo, luego de 6 semanas de operación, se observa una rápida adaptación de los sistemas a los graduales incrementos de COV, observándose valores de

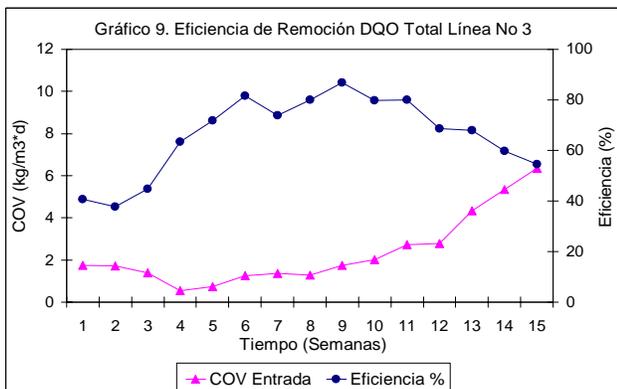
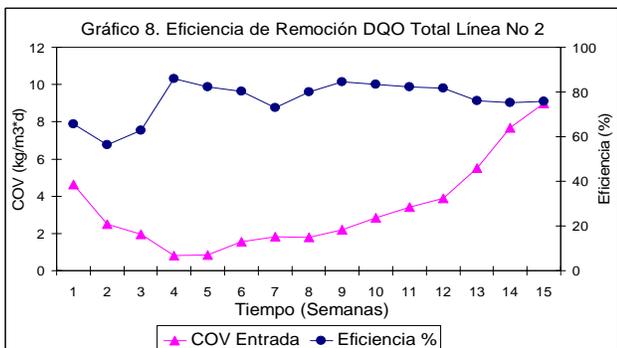
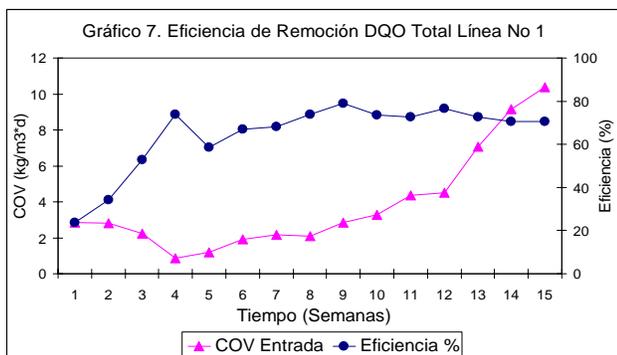
AGV inferiores (entre 2 y 8 meq/L). Se exceptúan las últimas 2 semanas de operación en donde se observa un rápido incremento en este parámetro, debido a que los sistemas llegaron a la carga límite.



Los gráficos 4, 5 y 6 muestran comportamientos muy similares al comparar las variaciones del índice buffer con respecto a los incrementos de COV durante la operación de las diferentes líneas de tratamiento, de lo cual se deduce que el control del pH efectuado en el sustrato no afectó significativamente el funcionamiento de los diferentes sistemas evaluados.

De los gráficos 1 al 6 se concluye que el sistema que mostró mayor estabilidad y capacidad de amortiguación de los AGV's a lo largo del estudio fue la Línea N° 2, puesto que las curvas relacionadas muestran mejor tolerancia a los incrementos de COV y mayor uniformidad en los datos.

Los gráficos 7, 8 y 9 muestran las eficiencias de remoción en DQO con respecto a los incrementos de COV durante la operación de las diferentes líneas de tratamiento. En ellos se observa que durante las primeras 4 semanas, la etapa de arranque mostró inestabilidad en todos los sistemas; presentando remociones de DQO entre el 10% y el 60%. Posteriormente, aún con los aumentos graduales de COV, se observan valores más estables en todos los sistemas, entre 70% y 80% de remoción de DQO, con valores promedio de 66.32% para la Línea N° 1, 75.51% para la Línea N° 2 y 70.29% para la Línea N° 3, mostrando picos mayores al 90% en todos los sistemas.



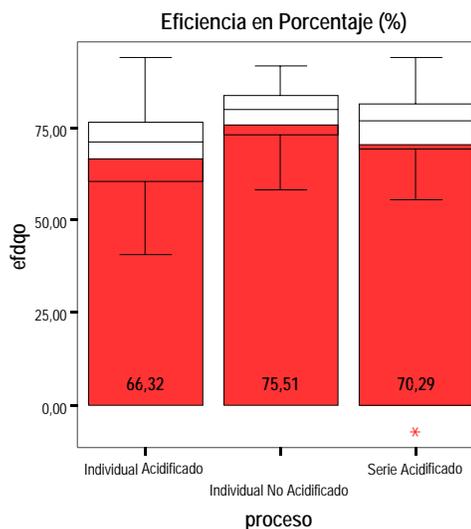
En las últimas dos semanas, al incrementar la COV de 7 a 10 kgDQO/m³*d en la Línea N° 1 (COV max 10.96 kgDQO/m³*d, DQO max 10798 mg/l), de 6 a 9 kgDQO/m³*d en la Línea N° 2 (COV max 9 kgDQO/m³*d, DQO max 10714 mg/l) y de 5 a 6 kgDQO/m³*d en la Línea N° 3 (COV max 6.36 kgDQO/m³*d, 10738 mg/l), utilizando lixiviado puro (sin diluir), las eficiencias de remoción de DQO observadas en todos los sistemas tendieron a bajar, las Líneas N° 1 y 2 llegaron hasta un valor cercano al 70%, mientras que la Línea N° 3 arrojó valores inferiores al 60%. Finalmente de acuerdo con los resultados se concluye que la Línea N° 2 mostró mayor estabilidad y mejores eficiencias a lo largo de la investigación.

A continuación se muestran las eficiencias promedio de remoción de DQO total, a través del programa estadístico SPSS 10 utilizando el ANOVA de una sola vía por el método de Tukey. El nivel de significancia fue menor al 95% (< 0.05), lo cual indica que al comparar los

procesos, no existen diferencias importantes entre ellos respecto a la eficiencia de remoción de la DQO total.

En el gráfico 10 se observan las eficiencias de remoción promedio de DQO total obtenidas para cada una de las Líneas de Tratamiento; se puede apreciar que las eficiencias en todos los casos superan el 60%, registrando el mayor valor (75.51%) el reactor individual no acidificado (Línea N° 2). El valor negativo que enseña la Línea de Tratamiento N° 3 se debe principalmente a fallas presentadas en la primera semana de la etapa de arranque al no asimilar efectivamente la COV suministrada.

Gráfico 10. Eficiencias de Remoción DQO Total.



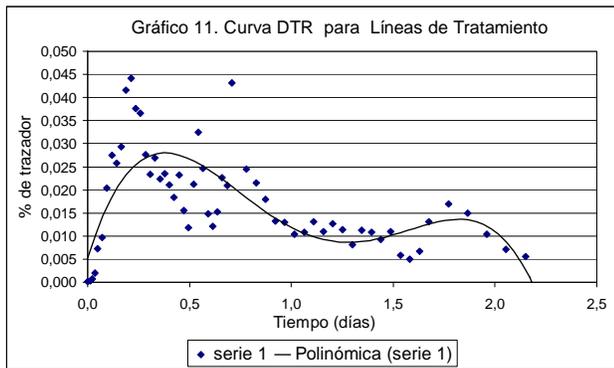
PROCESO	Número de datos	Eficiencias %
Individual Acidificado (Línea 1)	69	66.32
Individual No Acidificado (Línea 2)	70	75.51
Serie Acidificado (Línea 3)	60	70.29
Significancia		0.642

Tabla 7. Tukey para DQO Total.

Para el análisis del comportamiento hidráulico de los sistemas, solo se evaluó el FAFA 2, puesto que fue el sistema que mejor desempeño mostró a lo largo de la investigación.

Dicho análisis se realizó durante un periodo de cuatro días, mediante una prueba de trazadores, a través de una dosis instantánea de cloruro de litio (LiCl), inyectando un volumen de 10 mL directamente en la entrada y en dirección del flujo, a una concentración de 21050 ppm.

El gráfico 11 muestra la curva de distribución de tiempos de residencia (DTR) para la Línea de Tratamiento N° 2.



Del gráfico 11 se deduce que el TRH real (1.163 días), correspondiente al centroide de la curva DTR, es menor al TRH teórico (1.764 días), calculado como la fracción entre el volumen del reactor y el caudal de entrada, por lo que el índice de tiempo retención promedio (θ_g) es menor a 1 (0.659) e indica que la distribución de flujo en el reactor no es uniforme y puede haber presencia de espacios muertos o reducciones del volumen efectivo; los espacios muertos pueden deberse a canalizaciones producidas por la biomasa ó flujos preferenciales. El índice de cortocircuitos (θ_i) es aproximadamente cero (0,0067) lo cual muestra el predominio de flujo mezclado dentro del reactor, o también, por ser un valor inferior a 0.3, puede indicar paso directo entre la entrada y la salida; además, el índice de tiempo de retención modal (θ_p), al igual que θ_i indica que en la línea de tratamiento predomina el flujo mezclado ya que su valor fue cercano a cero (0,120), esto debido posiblemente a la alta producción de biogas.

4. CONCLUSIONES

El seguimiento realizado a los parámetros de control, según las tablas 5 y 6, indicaron que los filtros anaerobios de flujo ascendente (especialmente la Línea N° 2), presentaron una buena capacidad de asimilación y de amortiguación ante los graduales incrementos de carga aplicada. Sin embargo, es importante resaltar que se requiere contar con un lodo de buena calidad, y hacer un adecuado seguimiento de las etapas de inoculación, aclimatación y arranque de los sistemas.

Las eficiencias de remoción de DQO observadas en todas las líneas de tratamiento durante el periodo de estabilidad de los sistemas en la etapa de arranque, muestran que éstos pueden operar con altas cargas aplicadas (entre 5 y 10 kgDQO/m³*d) y TRH bajos (1.16 días).

Por otro lado, comparando estos resultados con los obtenidos por Agudelo (1998), en el cual se reporta eficiencias de remoción de DQO entre 60 y 96% para concentraciones entre 400 y 1108 mg/L y COV de

5.32 kgDQO/m³*d, manejando un TRH de 1 día, queda demostrado el excelente funcionamiento de los filtros anaerobios de flujo ascendente para la reducción de cargas contaminantes en los lixiviados de rellenos sanitarios, bajo condiciones similares a las reportadas en la presente investigación, lo cual indica que este tipo de sistema de tratamiento puede ser utilizado como tratamiento inicial para quebrar la carga de este tipo de residuos, ya que las características de los efluentes de estos sistemas no son adecuadas para su disposición directa en el medio ambiente.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] AGUDELO G. Rubén A. 1998. Tratamiento de lixiviados producidos en el relleno sanitario Curva de Rodas de la ciudad de Medellín utilizando reactores UASB y filtros anaerobios FAFA. En: Memorias IV Seminario Taller Latinoamericano sobre Tratamientos de Aguas Residuales. Bucaramanga, Colombia. Pag. 580-590.
- [2] BORZACCONI L, LOPEZ I, OHANIAN M y VIÑAS M. 1994. Degradación Anaerobia de Lixiviado de Relleno Sanitario y Posttratamiento Aerobio. En: Memorias IV Seminario Taller Latinoamericano Sobre Tratamiento de Aguas Residuales. Bucaramanga, Colombia. Pag. 569-578.
- [3] OSORIO A. Patricia. 1994. El Filtro Anaeróbico con Guadua: una alternativa para el tratamiento de las aguas mieles. CVC, Cali-Colombia.
- [4] RAMOS Israel. Prefactibilidad de Lixiviados del Relleno Sanitario de Mateare, utilizando Procesos Físicoquímicos y Biológicos a escala de laboratorio. Universidad del Valle. Cali, 1998.
- [5] SCHROEDER P R, LLOYD C M, ZAPPI P A y AZIZ N M. 1994. The hydrologic evaluation of landfill performance (HELP) model. Environmental Laboratory USAE, Waterways Experiment Station, Vicksburg - Mississippi.
- [6] Standard Methods for the examination of water and wastewater. 1995. 19 th edn, american public health association/american water works association/water environment federation, Washington, DC, USA.
- [7] SYED Qasim. 1994. Sanitary Landfill Leachate: generation, control and treatment. Pennsylvania. Tecnicomic. P. 321.
- [8] Universidad del Valle, Corporación Autónoma Regional del Cauca, Universidad Agrícola de Wageningen. 1987. Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodos - UASB- Manual del curso.