

Potenciación con ácidos grasos volátiles como alternativa para mejorar una semilla de lodo activado crudo en el arranque de reactores UASB

Beatriz Wills B. y Winston Cuéllar M.***

(Recibido el 30 de noviembre de 2001)

Resumen

En la presente investigación se evaluó la técnica de mejoramiento de un inóculo proveniente de un proceso de digestión aerobia de aguas residuales domésticas, en un reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), mediante la adición de ácidos grasos volátiles (AGV), durante cincuenta días. El inóculo fue objeto de una fase de aclimatación anaerobia de noventa días antes de iniciar el proceso de mejoramiento.

Los resultados obtenidos indican que la adición de AGV mejora comportamiento en cuanto a las variables de control y rendimiento, y aumento en la población bacteriana involucrada en el proceso de digestión anaerobia. Se observó que para velocidades ascensionales superiores a los $0,30 \text{ mh}^{-1}$ se presentan pérdidas de biomasa en el reactor con AGV.

----- *Palabras clave:* tratamiento anaerobio, ácidos grasos volátiles, reactores UASB, degradación, metanogénesis.

Empowerment with VFA as an alternative to improve a seed of raw activated sludge for the starting of UASB reactors

Abstract

In this research the technique for the improvement of a seed coming from the aerobic digestion process of domestic waste waters, was determined. It was done in UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) reactor, by adding volatile fatty acids (VFA), during fifty days. The seed was anaerobically acclimated for ninety days, prior to the improving process.

* Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental, GIGA. Universidad de Antioquia. A.A. 1226. Medellín. Colombia. bwills@udea.edu.co.

** Estudiante Maestría Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia.

Results show that the VFA addition improves the behavior regarding control variables and yielding, and an increase in the bacterial population involved in the anaerobic digestion process. It was observed that, for upward speeds greater than 0.30 m/h, there are mass losses in the reactor with VFA.

----- *Key words:* anaerobic treatment, volatile fatty acids, UASB reactors, degradation, methanogenesis.

Introducción

El proyecto "Evaluación de la técnica de potenciación con AGV como alternativa de mejoramiento de una semilla de lodo activado crudo para arrancar reactores UASB" se enmarca dentro de la investigación "Optimización de la etapa de arranque de reactores anaerobios mediante el mejoramiento de la calidad de diferentes semillas en condiciones dinámicas de operación", realizado por las Universidades del Valle y de Antioquia, en Cali y Medellín, respectivamente y por el Instituto ORSTOM, de Francia y fue financiado por Colciencias y por las tres instituciones participantes.

El interés de la presente investigación radica en que los procesos anaerobios se caracterizan por la baja velocidad de crecimiento y de actividad de las bacterias, la calidad de los inóculos o semillas es de gran importancia para el arranque y estabilización de reactores anaerobios de flujo ascendente con manto de lodos, conocidos tradicionalmente como UASB. Estos largos periodos de arranque, que generalmente requieren tales sistemas, están ligados a la calidad del inóculo utilizado [1].

De otro lado, existe déficit de semillas disponibles para inocular este tipo de reactores, los sistemas que tratan aguas residuales industriales en su mayoría generan pequeñas cantidades de lodo, el cual se viene comercializando con costos altos; generando de esta manera un círculo vicioso; no existe un inóculo adecuado porque no operan suficientes sistemas de tratamiento anaerobio y la falta de buenos inóculos hace que se dificulte la aplicación de la tecnología [2, 3, 4].

En esta investigación se presenta la técnica de potenciación con AGV como una posibilidad de mejoramiento de un lodo proveniente de una planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales. Con esta técnica se pretende mejorar las características del inóculo partiendo de que la conversión de la materia vía anaerobia se realiza en las etapas de hidrólisis, fermentación, acetogénesis

y metanogénesis, y de las cuales la hidrolítica y fermentativa pueden llegar a ser extremadamente lentas cuando se trata de compuestos complejos o particulados [5, 6]. Se trata entonces de acortar este proceso en cadena adicionando directamente al lodo cantidades de ácidos grasos volátiles, como acético, propiónico y butírico con el fin de aumentar las bacterias metanogénicas, encargadas de realizar la etapa de metanogénesis, la cual se considera crítica en este tipo de digestión [5].

Métodos y materiales

El presente estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Biotecnología Ambiental del Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental (GIGA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, que cuenta con los equipos y materiales necesarios para la investigación de los procesos de tratamiento de aguas residuales por vía aeróbica y anaerobia.

Reactores UASB

Para la experimentación se utilizaron dos reactores tipo UASB a escala de laboratorio, los cuales fueron construidos de forma modular en acrílico y con un volumen total de 7.553,7 cm³, una altura de 175 cm, diámetro del cuerpo principal 7,5 cm, siete puntos de muestreo y su respectivo sistema de separación de fases en la parte superior.

Aclimatación del lodo [7]

El lodo utilizado como inóculo provino de la planta de la PTAR del municipio de El Retiro (Antioquia) al oriente del Valle de Aburrá, a 2.175 msnm, con temperatura media de 18 °C. Esta planta es del tipo secundario y utiliza el sistema de lodos activados. Tiene un caudal promedio de veintidós litros por segundo.

Una vez se tuvo el lodo en el laboratorio, aproximadamente 135 litros, con concentración inicial de 5.000 mg/l de sólidos suspendidos totales (SST), se procedió a espesarlo hasta lograr la

concentración de 17.259 mg/l de SST, posteriormente se llevo a condiciones anaerobias reemplazando el volumen sobrenadante por una mezcla de agua con azúcar morena de tal manera que la DQO final oscilara 600 y 800 mg/l.

Durante toda la fase de adaptación (noventa días) se hicieron recambios de sobrenadante, a intervalos de tiempo de tres a cinco días, de manera que el sistema se mantuviera entre los 600 y 800 mg/l de DQO, controlando diariamente variables como % remoción de DQO, pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto.

Descripción de la técnica de mejoramiento del lodo con AGV

La técnica de potenciación con ácidos grasos volátiles como alternativa de mejoramiento de una semilla, se basa en el hecho de iniciar el proceso de digestión anaerobia en la etapa de homoacetogénesis-acetogénesis en la cual se metabolizan los productos terminales de la etapa acidogénica, es decir alcoholes, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos que son convertidos en acetato, CO₂ e hidrógeno [8].

Para el reactor con el lodo que se mejora se utilizó una solución de AGV durante los primeros treinta días, los siguientes veinte días se realizó una transición gradual entre las soluciones de AGV y azúcar morena, iniciando con un 10% hasta completar el 100% con la solución de azúcar morena con el fin de no someter a las bacterias a un cambio brusco en su dinámica de alimentación. A partir del día cincuenta el reactor se alimentó completamente con azúcar morena. Al sustrato de AGV se le adicionaban nutrientes y bicarbonato de sodio para neutralizar el exceso de acidez.

Sustrato

La solución estándar de ácidos grasos volátiles [9] se preparó a partir de una relación de acético (C₂), butírico (C₃), propiónico (C₄) 3:1:0.3; y el reactor en estudio se alimentó con una solución de AGV de 800 mg/l de DQO.

Para el reactor control y el reactor en estudio, luego de la potenciación con AGV, se utilizó como sustrato una solución de azúcar que se preparó utilizando agua previamente desaireada y en una proporción que garantizara 800 mg/l de DQO. Esta solución se preparó cada doce horas con el fin de que el sustrato no se acidificara antes de ingresar al reactor.

Nutrientes

Con el fin de aportar los macronutrientes y micronutrientes necesarios para las bacterias siempre se le adicionó al alimento solución de macronutrientes (cinco litros): 7 g de NH₄Cl; 6,25 g de K₂HPO₄; 2,5 g de MgSO₄·7H₂O; 0,25 g de CaCl₂·2H₂O; 10 g de NaHCO₃ y 28 ml de elementos traza y solución de micronutrientes (cuatro litros): 200 mg de H₃BO₃; 945 mg de FeCl₂·6H₂O; 200 mg de ZnCl₂; 200 mg de MgCl₂·4H₂O; 120 mg de CuCl₂·2H₂O; 200 mg de (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O; 800 mg de AlCl₃·6H₂O; 400 mg de NaSeO₃·5H₂O; 4.000 mg de EDTA; 800 mg de resarzurina; 4 ml de HCl concentrado y 200 mg de NiCl₂·6H₂O, en cantidades que dependían del caudal de alimentación de cada uno de los reactores [10].

Solución amortiguadora

Con el fin de controlar los cambios de pH y regularlo entre 6,5-7,5 durante el arranque de los dos reactores debido a los procesos de acidificación, se utilizó bicarbonato de sodio (NaHCO₃) para mantener la capacidad buffer del sistema.

Arranque de reactores UASB

En el proceso de arranque los dos reactores se operaron en paralelo, utilizando para cada reactor 3.300 cm³ de lodo aclimatado espesado, el cual ocupó aproximadamente un tercio del volumen total del reactor. Como alimento para el reactor control se utilizó durante todo el tiempo una solución de azúcar morena, para el reactor con el lodo para mejorar se utilizó durante los primeros treinta días una solución de AGV. Durante los siguientes veinte días se realizó una transi-

ción entre las soluciones de AGV y azúcar morena antes descritas, iniciando con el 10% hasta completar el 100%. Esto con el fin de no realizar un cambio brusco en la dinámica del reactor. A partir del día cincuenta los dos reactores se alimentaron con azúcar morena.

Las variaciones de los TRH desde 16 hasta 4 h para el reactor control desde 18 hasta 5 h para el reactor con AGV, se hicieron con base en los resultados de las variables de control (pH, capacidad buffer, y producción de AGV, y las variables de resultado (producción de biogás y remoción de DQO). Teniendo como criterio la variación de la carga cuando los reactores presentaran remociones entre el 30 y el 40% de DQO.

Resultados y discusión

Aclimatación del lodo activado

Durante esta fase el pH varió entre 6,0 y 6,8, con tendencia a presentar problemas de acidificación, el oxígeno disuelto siempre estuvo por debajo de 0,3 mg/l, por lo que el lodo siempre estuvo bajo condiciones anaerobias. Se consiguieron remociones del 9% de la DQO en la primera semana y del 83% en la última semana, lo que permitió tomar la decisión de terminar con este proceso e iniciar la fase de mejoramiento y corrida de reactores [7].

Los resultados de los recuentos por sensibilidad al oxígeno, mostraron gran proporción de bacterias aeróbicas y anaerobias facultativas (BAAF) en el lodo crudo y aclimatado, este grupo está conformado por bacterias facultativas que intervienen en los procesos de hidrólisis y fermentación, las anaerobias (BAs) y los hongos y levaduras (H y L) permanecieron muy constantes, con tendencia a la disminución. Los recuentos relacionados con el metabolismo bacteriano, mostraron aumento en la población de bacterias metanogénicas hidrogenofílicas (BMH) y metanogénicas acetoclásticas (BMA) y una reducción de las bacterias sulfatorreductoras (BSR), durante la fase de aclimatación [11].

La relación de SSV/SST fue de 0,68 y 0,66 para el lodo crudo y aclimatado respectivamente, lo que indica que el proceso de aclimatación del lodo no fue significativo para el crecimiento de la biomasa. Tanto en el lodo crudo como en el aclimatado se obtuvieron actividades metanogénicas específicas (AME) prácticamente de cero con el sustrato de ácido acético, lo que evidenció una población de bacterias acetoclásticas muy débil, y AME de 0,19 g DQOCH₄ g⁻¹ SSV. día⁻¹ con el sustrato de fórmico para el lodo crudo, lo que nos indica una población baja de bacterias metanogénicas hidrogenofílicas, que se aumentaron durante la fase de aclimatación al término del cual se obtuvo una AME con el sustrato de ácido fórmico de 1,39 g DQOCH₄ g⁻¹ SSV. día⁻¹ [12].

Desempeño de los reactores

Los hallazgos de los ciento treinta y seis días de operación reactor control y de los ciento dos días de operación del reactor con AGV se ilustran en las figuras 1, 2 y 3. En la figura 1 se observa el comportamiento secuencial de las variables de control y de resultado de los dos reactores, a las cuales se les realizó un ajuste o línea de tendencia del tipo polinómica; igualmente la línea vertical, indica la separación de fases de alimentación con AGV y azúcar para el reactor en estudio. Estos resultados dan un indicio del desempeño durante el periodo de arranque.

En el reactor con AGV se puede observar que el pH del efluente siempre estuvo entre 6 y 8 y los valores medios de capacidad buffer estuvieron por debajo de 0,85. En el reactor control se observa mayor variabilidad en el pH y mayores valores de la capacidad buffer del sistema.

Durante las primeras semanas del arranque, periodo del uno al cuatro (hasta el 22 de abril), pueden observarse en el reactor con AGV cantidades superiores a los 6,0 meq.l⁻¹ de ácidos grasos volátiles, esto es lógico debido a la composición del sustrato; posteriormente se observa una estabilización de los mismos. Para el reactor control se observan valores inferiores a 6,0 meq.l⁻¹ al ini-

cio, pero unas variaciones grandes durante los periodos restantes, dando una señal de inestabilidad del sistema por acidificación.

Al igual que los AGV, para estas primeras semanas de arranque, en la etapa de mejoramiento del reactor en estudio se observan, remociones por debajo del 50% con respecto a la DQO de entrada, esto debido principalmente a la toxicidad o inhibición por la cantidad de AGV presentes. Para el caso del reactor control se observan remociones por encima del 50% para los primeros periodos, pero un decaimiento en los perio-

dos siguientes, debido a una disminución el TRH, y a un incremento de los AGV en el sistema.

En concordancia con los registros de capacidad buffer, AGV y % de remoción de DQO, podría decirse que durante los primeros días del mejoramiento, la producción de biogás para el reactor mejorado fue muy baja. Posteriormente con la disminución de los AGV se presenta una mejoría notable en la producción de biogás. Efecto contrario sucede con el reactor control, el cual disminuye su porcentaje de remoción y producción de biogás, por el aumento de los AGV.

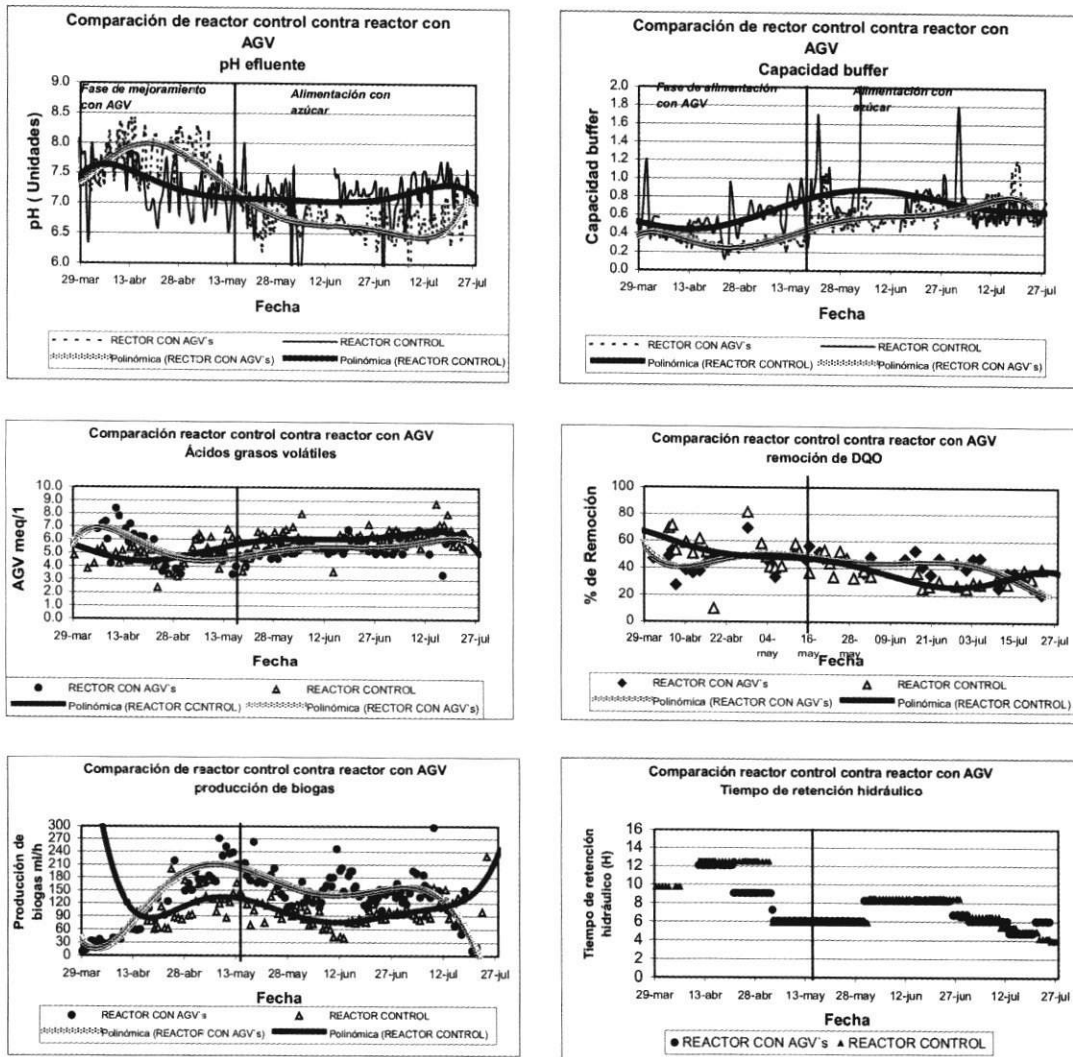


Figura 1 Comportamiento de variables de control y de resultado durante el arranque del reactor control y reactor con AGV

A partir del periodo seis (17 de mayo) donde concluye la fase de mejoramiento del reactor con AGV, se realizaron aumentos progresivos de caudal al reactor, llegando al periodo nueve con un caudal de 30 l d^{-1} , lo que corresponde a un TRH 6,0 h. Con este caudal se observó un aumento considerable en la altura del perfil de lodos que alcanzó una altura promedio de 1,70 m, y el efluente comenzaba a presentar sólidos suspendidos, pero no se presentó desmejoramiento en las variables de control y respuesta.

Con el aumento del caudal a 38 l d^{-1} , equivalente a un TRH de 4,8 h se observó que los lodos ocupaban todo el volumen del reactor hasta la zona

de separación de fases, y se presentó un desmejoramiento en las variables de respuesta. Este aumento de velocidad ascensional en el sistema, ocasionó una pérdida gradual de la biomasa activa del reactor, llegando al extremo durante el periodo once (día noventa y ocho a ciento dos) donde toda la biomasa activa se había lavado por el efluente, presentándose una disminución notable en todas las variables de rendimiento; por lo cual velocidades superiores a los $0,30 \text{ m h}^{-1}$ se consideran críticas para este tipo de lodos dispersos.

Los primeros cuatro gráficos de la figura 2 nos muestran las variaciones de los parámetros

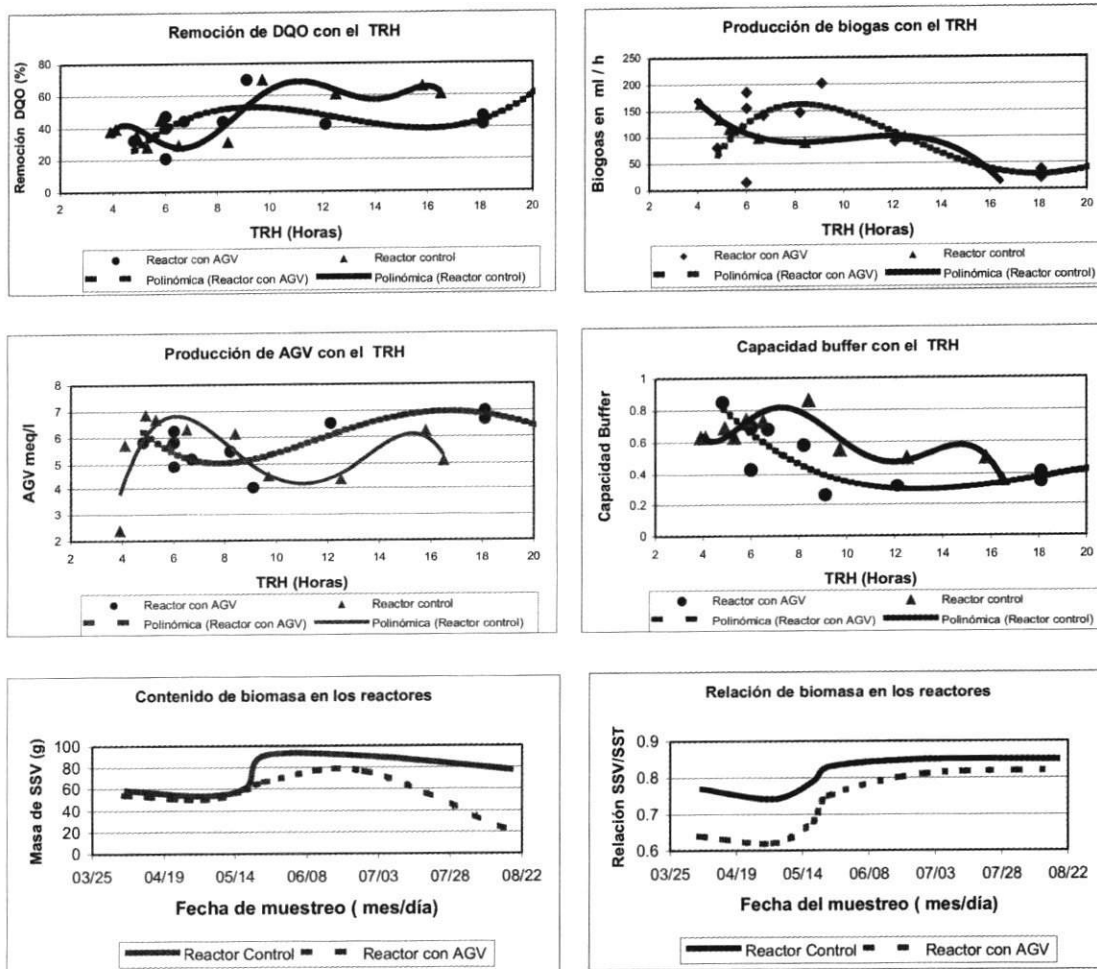


Figura 2 Comportamiento de cada una de las variables monitoreadas con respecto al TRH y contenido de biomasa en los reactores

monitoreados con respecto al tiempo de retención hidráulico, que variaron de 16 hasta 4 h para el reactor control y de 18 hasta 5 h para el reactor con AGV; igualmente se presentan con líneas continuas el ajuste o tendencia del tipo polinómica.

De acuerdo con los AGV y la capacidad buffer del sistema, en la fase de mejoramiento con AGV (a partir del periodo seis con un TRH de 6 h), se nota un mejor comportamiento del reactor tratamiento con respecto al control; igualmente, en lo que se refiere a las variables de rendimiento, se presentó mayor producción de biogás. Es importante resaltar que a partir del periodo nueve en el reactor con AGV, debido a las características del lodo (disperso) y a un aumento en la velocidad ascensional a $0,36 \text{ mh}^{-1}$, se presentó pérdida de biomasa por el efluente, hecho evidenciable en el quinto gráfico de la figura 2 donde se aprecia disminución de los SSV.

De la información de los perfiles de sólidos, representada en el último gráfico de la figura 2, se observa un crecimiento de biomasa en el lecho de ambos reactores, presentándose mayor crecimiento en el reactor control.

En la tabla 1 se presentan los resultados de las AME para los reactores a los treinta y ciento veinte días de operación. Para el sustrato fórmico se presentan, a lo largo de la operación activada, actividad alta a los 120 días, duplicando la actividad del lodo aclimatado.

Para el sustrato acético no se presentó AME en el lodo aclimatado, lo cual se relaciona con recuentos bajos de BMA del orden de 10^8 . Luego del proceso de mejoramiento se presentó en el tratamiento, AME para este sustrato que duplicó al control a los treinta días. A los ciento veinte días, el tratamiento presentó AME alta; a los ciento quince días se presentó una pérdida importante de biomasa por lavado en el tratamiento.

En las figuras 3 y 4 se observa que para el recuento por sensibilidad al oxígeno, la población de bacterias facultativas (BAAF) permaneció estable en los dos reactores, este grupo está conformado principalmente por bacterias hidrolítica y fermentativas. La población de bacterias anaerobias en medio sólido (BAS), presentó incremento en el control y en el reactor con AGV, al igual que los hongos y levaduras (H y L) [8].

Los resultados del recuento relacionado con el metabolismo bacterial, identifican a las bacterias metanogénicas hidrogenofílicas (BMH) como la población más dominante en el reactor con AGV. Adicionalmente las bacterias sulfatorreductoras del acetato (BSRA) presentaron recuentos altos en ambos reactores, y las bacterias metanogénicas acetoclásticas (BMA) presentaron un leve incremento con relación al lodo aclimatado [8].

Efecto del sustrato en el arranque

Es importante resaltar la variación de los registros del pH en el afluente y efluente y la capaci-

Tabla 1 Resultados de las AME para el lodo crudo, aclimatado, control y con AGV durante la operación de los reactores

<i>Muestra</i>	<i>SSV (mg/l)</i>	<i>SSV/SST</i>	<i>g DQO/g SSV</i>	<i>Fórmico</i>		<i>Acético</i>	
				<i>TRH (h)</i>	<i>AME</i>	<i>TRH (h)</i>	<i>AME</i>
Lodo crudo	15.950	0,68	2,32	200	0,19	450	0,05
Lodo Aclimatado	9.856	0,66	3,85	25	1,39	0	0,00
Control 30 días	14.595	0,82	2,60	20	1,01	94	0,22
AGV 30 días	13.675	0,84	2,77	42	1,10	42	0,43
Control 120 días	24.190	0,88	3,50	22	0,70	68	0,02
AGV 100 días	5.865	0,85	3,50	22	3,03	43	0,36

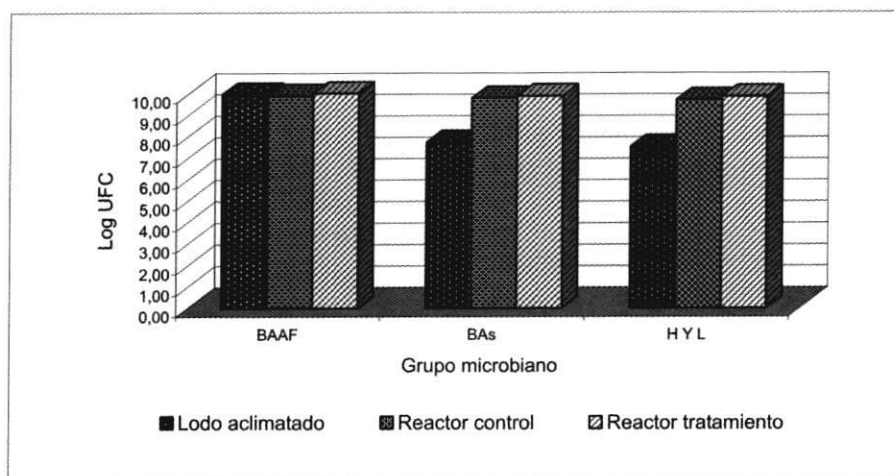


Figura 3 Recuento relacionado con la sensibilidad al oxígeno, en UFC/g SSV

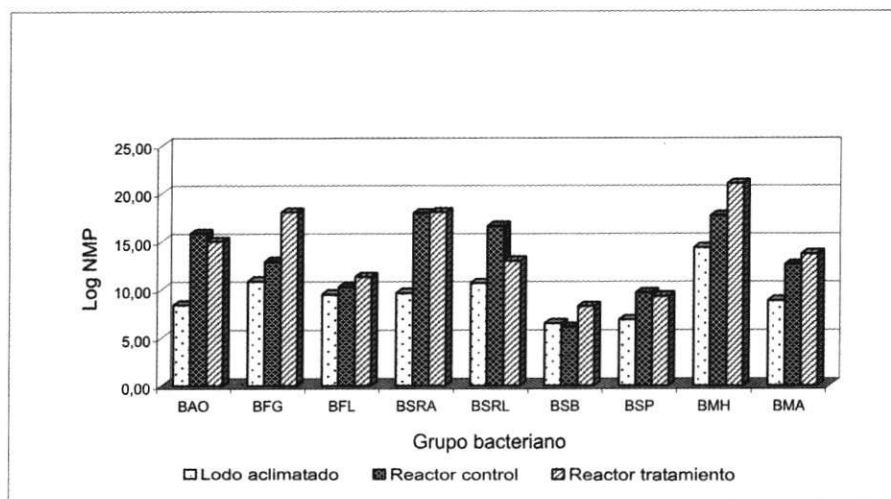


Figura 4 Recuento relacionado el metabolismo bacteriano, en NMP/g SSV de lodo

dad buffer durante el arranque del reactor con AGV, y en especial los cambios registrados cuando se realiza el cambio de sustrato de AGV a azúcar morena. Para el caso del pH del afluente es estable durante los once periodos y se controló con la adición de bicarbonato. El pH del efluente presenta un cambio brusco en el momento que se reemplaza el sustrato por azúcar (periodos cinco y seis), corroborando así la inestabilidad del azúcar como sustrato, la cual tiende a fermentarse rápidamente. Durante los periodos siete a once se observan valores entre 6 y 7,0.

Conclusiones

El proceso de aclimatación anaerobia, del lodo proveniente de la planta de tratamiento de El Retiro, mejoró las poblaciones de bacterias metanogénicas hidrogenofílicas (BMH) y metanogénicas acetoclásticas (BMA), importantes para el proceso de la digestión anaerobia.

Comparando el desempeño de los reactores durante la fase de arranque, con azúcar como sustrato, se puede concluir que el reactor mejorado con AGV presentó mejores comportamien-

tos, antes que se iniciara el proceso de pérdida de biomasa por el efluente, de las variables de control y rendimiento, y una mejora en las poblaciones bacterianas relacionadas con el proceso de digestión anaerobia.

Para velocidades, ascensionales mayores a $0,30 \text{ mh}^{-1}$ se presenta pérdida apreciable de biomasa en el reactor; presentando ambos reactores mejores eficiencias en las variables de respuesta, para velocidades entre $0,20$ y $0,30 \text{ mh}^{-1}$, correspondientes a TRH entre 9 y 6 horas respectivamente.

Como variable de control del proceso, la producción de AGV en el sistema es un indicio del aumento o disminución de la eficiencia en las variables de rendimiento del reactor. Se encontraron mayores eficiencias para valores de AGV cercanos a $4,0 \text{ mg/l}$.

La solución de azúcar morena empleada como sustrato presenta dificultades de operación debido a que se presenta fermentación, la cual afecta el comportamiento de los reactores.

Referencias

1. Weiland P, and Rozzi A. The star-up operation and monitoring of high rate anaerobic treatment systems, *Discussers reports. Wat. Sci. Tech.* Vol. 24 No. 8.
2. Molina P. Francisco y Alazard Didier. *Microbiología de la digestión anaerobia y caracterización de lodos anaerobios*. Universidad de Antioquia. Medellín, 1997.
3. Cairó Jordi J. y Paris Josep M. En: *Microbiología de la digestión anaerobia, metanogénesis. Actas del 4º seminario DAAR*. Valladolid, 23-25 de noviembre de 1998. p. 41.
4. De Zeew, W.J. *Aclimatization of anaerobic sludge for UASB-reactor start-up*. Tesis doctoral. Wageningen, Holanda. 1984.
5. Molina P. Francisco. *Influencia de la carga hidráulica y la concentración del sustrato en el arranque de reactores UASB*. Tesis, Universidad del Valle, Santiago de Cali. 1997, p. 14.
6. Zegers, Frank. *Microbiología En: Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodos -UASB*. Santiago de Cali. 1987. p. A1-A14.
7. Gallego, D y Saldarriaga, J.C. *Aclimatación del lodo crudo para el desarrollo del Proyecto de Investigación "Semillas"*. Trabajo realizado en el laboratorio de Biotecnología Ambiental, Universidad de Antioquia, Medellín. Sin editar. 1999.
8. Lettinga, G et al. Use of the upflow sludge blanket reactor concept for biological wastewater treatment. *Biotechnology Bioengineering*. Vol.22. p. 699-734.
9. Méndez R. T. and Lema J.M. Development of a methanogenic activity test for anaerobic sludges. *4th medi. Congress on Chem. Engng.* Barcelona. 1987.
10. Hulshoff, P. *The phenomenon of granulation of anaerobic sludge*. Tesis doctoral. Wageningen, Holanda. 1989.
11. Naranjo P., González M.E., Molina F. *Evaluación microbiológica de un lodo crudo proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de El Retiro y del mismo lodo a condiciones anaerobias*. Universidad de Antioquia. Medellín. 2000.
12. González M.E. y Molina F. *Evaluación microbiológica de un lodo durante un proceso de mejoramiento con adición de ácidos grasos volátiles*. Universidad de Antioquia, Medellín, 2000 (sin publicar).