

Evaluación microbiológica de un lodo durante un proceso de mejoramiento aplicando la técnica de lavado (presión selectiva)

Francisco Molina P.*, María Elena González**
y Luz Catalina González B.***
(Recibido el 30 de octubre de 2001)

Resumen

En esta investigación se evaluaron los consorcios microbianos mediante caracterización por grupos tróficos y grupos relacionados con la sensibilidad al oxígeno, como también se evaluó la actividad metanogénica específica (AME) de un lodo aclimatado a partir de un lodo aerobio proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), posteriormente a dicho lodo se le aplicó la técnica de mejoramiento por lavado [1], obteniendo así un inóculo para el arranque de un reactor anaerobio tipo UASB (reactor tratamiento). Paralelamente se operó un reactor inoculado con lodo aclimatado (reactor control). Ambos reactores se operaron durante ciento veinte días utilizando como sustrato azúcar morena; la etapa de experimentación incluye datos hasta los 70 días de operación, caracterizando el lodo al final de dicho período. Se analizó la AME utilizando como sustratos ácido acético y fórmico. Los resultados mostraron para ambos sustratos actividades entre 0,45 y 1,39 g DQO-CH₄/gSSV-d. Al finalizar la etapa de experimentación del reactor UASB se observó como grupo predominante las bacterias sulfato reductoras (BSR) del acetato y del lactato seguidas de las bacterias metanogénicas hidrogenofílicas (BMH). Es importante anotar que al aplicar la técnica de lavado al lodo, se incrementaron todos los grupos tróficos excepto las bacterias fermentativas del lactato (BFL).

----- *Palabras clave:* reactor UASB, digestión anaerobia, lodo anaerobio, presión selectiva o estrés hidráulico, actividad metanogénica específica.

* Docente. Laboratorio de Biotecnología Ambiental, Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental (GIGA). Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. corpamb@quimbaya.udea.edu.co.

** Docente. Laboratorio de Biotecnología Ambiental, Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental (GIGA). Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. megonzal@udea.edu.co.

*** Estudiante. Laboratorio de Biotecnología Ambiental, Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental (GIGA). Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. kathy7@latinmail.com.

Microbiological evaluation of a sludge during a improvement process applying the washing technique (selective pressure)

Abstract

In this investigation, the microbial consortiums were evaluated by using characterization by trophic groups and related groups by their sensibility to oxygen, as well as the specific methanogenic activity (SMA) of an acclimated sludge, starting from an aerobium sludge coming from a Residual Water Treatment Plant. Later, the technique of improvement by washing was applicated to this sludge, getting an inoculum for the starting of an anaerobic reactor of the kind UASB (Treatment Reactor). At the same time, a control reactor was operated, inoculated with acclimated sludge. Both reactors were operated during 120 days, using brown sugar as substrate, the experimental phase included dates up to 70 operation days, characterizing the sludge at the end of this period. The SMA was analyzed using acetic and formic acids as substrates. The results showed activities between 0,45 and 1,39 g DQO-CH₄/SSV-d. for both substrates. At the end of the experimental phase of the UASB reactor, the sulphate reducer bacteria from the acetate and the lactate were observed as predominant group, followed by the methanogenic hydrogenophilic bacteria. It is important to notice that, with the application of the sludge washing technique, all the trophic groups were increased, with the exception of the lactate fermentative bacteria.

-----*Key words:* UASB reactor, anaerobic digestion, anaerobic sludge, selective pressure or hydraulic stress, specific methanogenic activity.

Introducción

Frente a la contaminación y deterioro de los recursos hídricos, el hombre ha implementado técnicas que, basándose en procesos naturales llevados a cabo por microorganismos, tanto aerobios como anaerobios, pretenden disminuir la cantidad de materia orgánica y sustancias tóxicas presentes en las aguas residuales [2].

En los procesos aerobios, los microorganismos toman la materia orgánica como fuente de energía y la convierten en agua, bióxido de carbono y principalmente nueva biomasa. En los procesos anaerobios, los microorganismos degradan la materia orgánica presente en el agua de desecho, la cual es asimilada por ellos en ausencia de oxígeno, transformándola principalmente en metano y bióxido de carbono, y en menor proporción biomasa [3].

Durante las dos últimas décadas se ha incrementado el uso de la tecnología anaerobia para el tratamiento de las aguas residuales; sin embargo la baja velocidad de crecimiento y la actividad de las bacterias anaerobias hacen necesarios largos períodos de tiempo (6-12 meses) para el arranque de reactores tipo UASB [4]. Esta dificultad puede superarse si se cuenta con una semilla anaerobia adaptada de otro reactor [5]. Otra alternativa consiste en mejorar y adaptar a condiciones anaerobias, lodos provenientes de sistemas aerobios tipo lodos activados, debido a la alta producción de éstos en las PTAR [6]. El mejoramiento de lodos se ha realizado mediante varias estrategias: lavado o presión selectiva [1], adición de calcio como coagulante [7], potenciación con ácidos grasos volátiles [8], entre otros.

En el presente estudio se evaluaron los consorcios microbianos (caracterización microbiológica por grupos tróficos y sensibilidad al oxígeno) presentes en un lodo mejorado espesado mediante la técnica de lavado o presión selectiva [1], con dicho lodo fue inoculado un reactor UASB (reactor tratamiento), el cual fue operado durante ciento veinte días utilizando como sustrato azúcar morena; paralelamente se operó

un reactor control inoculado con lodo aclimatado sin lavar.

Materiales y métodos

Materiales

- **Inóculo.** Procedente de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas por lodos activados, localizada en el municipio de El Retiro. El lodo se tomó del sedimentador secundario y fue sometido a un proceso de aclimatación a condiciones anaerobias, utilizando azúcar morena como sustrato.

A una fracción de lodo se le aplicó la técnica de mejoramiento por lavado, sometiéndolo en forma gradual a velocidades ascensionales desde 0,74 hasta 8,5 m/h. Con este lodo se inoculó el reactor UASB.

El reactor control se inoculó con el lodo aclimatado. A los setenta días de operación, se realizó la caracterización microbiológica por grupos tróficos, sensibilidad al oxígeno y actividad metanogénica específica; además se cuantificaron sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles.

- **Reactor.** Se emplearon dos reactores construidos en acrílico con una altura útil de 1,5 m, una sección circular de 7,5 cm y un volumen útil de 6,6 l.

Ambos reactores, control y tratamiento, se alimentaron con azúcar morena (800 mg/l expresados como DQO) y nutrientes a pH neutro, la operación de los reactores se realizó de acuerdo con los parámetros consignados en la tabla 1 [9].

Tabla 1 Parámetros de operación reactores control y tratamiento

Parámetro	Valor
DQO afluente	800 mg/l
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	18,0–4,15 h
Velocidad ascensional (Vas)	0,1–0,4 m/h

Métodos

Caracterización microbiológica

Recuento por sensibilidad al oxígeno. Se empleó la técnica de recuento estándar en placa por siembra en superficie, para los grupos: bacterias aerobias y anaerobias facultativas (BAAF), bacterias anaerobias (BAs), hongos y levaduras (H y L).

Las BAAF se incubaron en condiciones aerobias a 35 °C durante dos días, las BAs se incubaron a 35 °C durante ocho días en jarra de anaerobiosis con una atmósfera de H₂/CO₂, los H y L se incubaron en condiciones aerobias a temperatura ambiente durante ocho días.

Recuento relacionado con el metabolismo bacterial. Se empleó la técnica del número más probable (NMP) para los siguientes grupos tróficos: bacterias fermentativas de glucosa y lactato (BFG y BFL), bacterias sulfatorreductoras de lactato y acetato (BSRL y BSRA), bacterias sintróficas del propionato y del butirato (BSP y BSB), bacterias metanogénicas acetoclásticas e hidrogenofílicas (BMA y BMH).

La incubación se realizó a 35 °C y los períodos variaron según el grupo trófico así:

BFG y BFL, ocho días, BSRL y BSRA, quince días, BSP y BSB, sesenta días, BMA, sesenta días y BMH, cuarenta y cinco días.

Actividad metanogénica específica (AME). Se emplearon ácido fórmico y acético como sustratos para BMH y BMA respectivamente; se utilizaron botellas serológicas de 60 ml. La producción de metano se evaluó por cromatografía de gases en un cromatógrafo (HP 6890). Los ensayos se realizaron por duplicado utilizando un control sin sustrato también por duplicado.

Las metodologías empleadas se fundamentan en trabajos realizados por autores como Hungate 1969, Balch 1979, Bryant 1972, Hulshoff 1989, Widdel *et al.* 1981 y Zinder 1984 entre otros, los cuales se encuentran recopilados en el manual de microbiología de la digestión anaerobia y caracterización de lodos [10].

Resultados

Actividad metanogénica específica. Para los cuatro lodos estudiados se presenta en la tabla 2 la información de las características fisicoquímicas y la AME para los ácidos fórmico y acético, tanto a los treinta y siete como a los setenta días de operación.

En la figura 1 se presenta la AME del ácido fórmico y del ácido acético para los lodos estudiados, a los treinta y setenta días de operación.

Características microbiológicas

- Grupos relacionados con la sensibilidad al oxígeno. En la figura 2 se presenta en forma esquemática la evolución de estos grupos durante los setenta días de experimentación, para los cuatro lodos estudiados; y en la tabla 3 se consigna el recuento de estos grupos expresado como UFC/g SSV de lodo.
- Recuento relacionado con el metabolismo bacterial. En la figura 3 se esquematiza la evolución de estos grupos durante los 70 días de experimentación para los cuatro lodos estudiados. El recuento de los grupos relacionados con el metabolismo bacterial expresados en NMP/g SSV de lodo, para los cuatro lodos estudiados se presentan en la tabla 4.

Análisis de resultados

Actividad metanogénica específica. La AME reportada corresponde a una actividad metanogénica neta, resultante del valor obtenido en el reactor tratamiento menos el valor del control para cada tiempo de lectura.

En la tabla 2 se presentan las características más relevantes de los lodos estudiados, en ella se observa que todos representan características de lodo disperso según Hulshoff [11], la relación entre SSV/SST debe oscilar entre 0,45 y 0,90, estando todos en este intervalo.

Como se detalla en la tabla 2 y la figura 1, el valor de AME para el ácido fórmico en el lodo

Tabla 2 Características fisicoquímicas y AME para lodo aclimatado, lodo lavado y espesado, reactores control y tratamiento

Muestra	SSV (mg/l)	SSV/SST	g DQO/g SSV	Fórmico		Acético	
				Tr (h)	AME	Tr (h)	AME
Lodo aclimatado	9.856	0,660	3,856	25	1,390	-	N.D.
Lodo. lavado y espesado	10.880	0,680	3,493	20	0,991	-	N.D.
Control (1ª)	14.595	0,820	2,604	20	1,015	94	0,226
Tratamiento (1ª)	11.765	0,706	3,230	20	0,863	42	0,454
Control (2ª)	23.290	0,850	1,632	15	0,420	-	N.D.
Tratamiento (2ª)	15.520	0,860	2,300	15	0,790	-	N.D.

Las primeras AME se realizaron a los treinta y siete días.

Las segundas AME se realizaron a los setenta días.

Tr: Tiempo de retardo.

N.D.: No detectado.

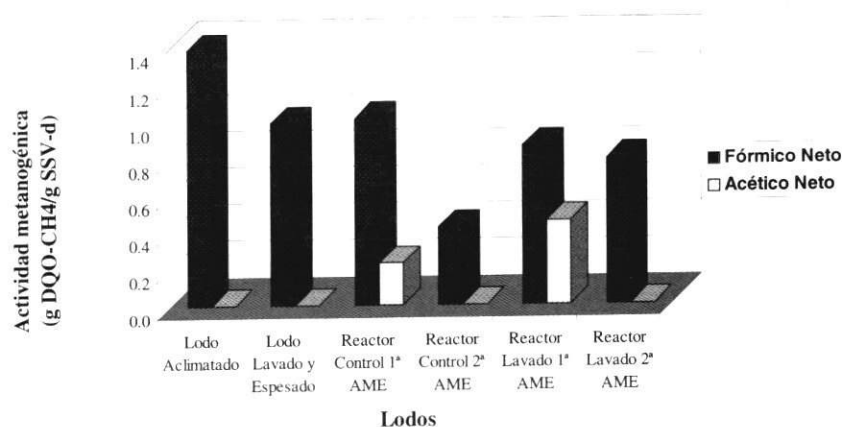


Figura 1 Actividad metanogénica de los lodos con diferentes sustratos

aclimatado es mayor que en el lodo lavado y espesado, sin embargo ambos valores están en el rango de 1,0–1,4 g DQO-CH₄/g SSV día.

La primera AME para el reactor tratamiento se realizó a los 37 días de inoculado el reactor con el lodo lavado–espesado, con respecto al sustrato fórmico no se presentan diferencias significativas entre el tratamiento y el control.

Con el sustrato acético se reporta actividad en el reactor tratamiento, a los treinta y siete días con un tiempo de retardo de cuarenta y dos horas y una AME de 0,45, indicando que las BMA se potenciaron en éste.

La segunda AME para el reactor tratamiento, se realizó a los setenta días de operación. La AME para fórmico se mantuvo del orden de 0,85 g DQO-CH₄/g SSV-d, por el contrario para el acetato de una AME inicial de 0,45 g DQO-CH₄/g SSV-d a los treinta y siete días de operación se pasó a una AME no detectable a los setenta días de operación; este hecho puede estar relacionado con dos factores: tiempos de retención bajos en el reactor que impiden el crecimiento de las BMA; por el otro lado el ensayo de AME a los setenta días, se realizó con una relación sustrato/SSV baja, lo cual limita el contacto entre el sustrato y los microorganismos y pudo influenciar la no producción de metano en el ensayo.

Recuento relacionado con la sensibilidad al oxígeno. Partiendo del lodo aclimatado, pasando por el lodo lavado y por los lodos tratamiento y control provenientes de la operación de los dos reactores UASB, no se presentaron cambios significativos en la estructura de las poblaciones de bacterias aerobias facultativas y anaerobias.

Para los hongos y las levaduras la técnica de lavado no incidió en estas poblaciones; luego de los setenta días de operación de los reactores tratamiento y control aumentaron dichas poblaciones, posiblemente por la adición de un sustrato de alta energía como el azúcar morena. Es importante anotar que la población dominante estuvo representada por las levaduras, las cuales intervienen en procesos de fermentación [12].

Recuentos a los setenta días de operación para reactores control y tratamiento:

Recuento relacionado con el metabolismo bacteriano:

Recuentos a los setenta días de operación para reactores control y tratamiento

Tanto en el proceso de lavado, como al finalizar la etapa de experimentación de los reactores tratamiento y control las BSR aumentaron sus poblaciones, estas bacterias tienen la capacidad de utilizar los productos de la fermentación como sustrato [12].

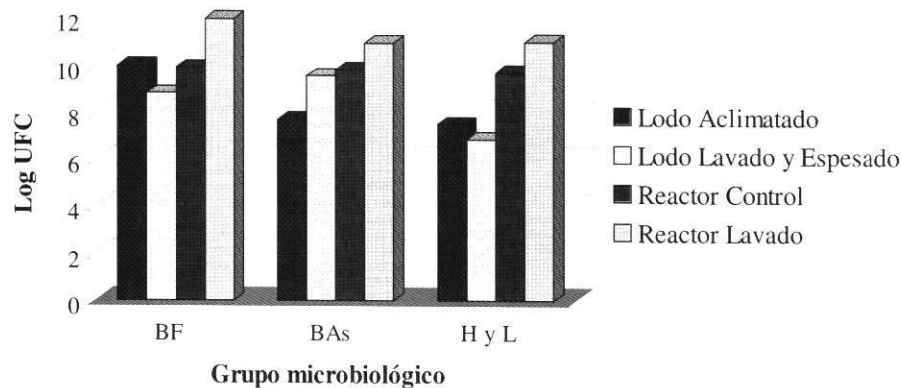


Figura 2 Recuento relacionado con la sensibilidad al oxígeno

Tabla 3 Grupos relacionados con la sensibilidad al oxígeno, expresados en UFC/g SSV de lodo

Grupo microbiano	Lodo aclimatado	Lodo lavado lavado y espesado	Reactor control	Reactor con lodo (reactor tratamiento)
BAAF	$9,3 \times 10^9$	$6,4 \times 10^8$	$7,8 \times 10^9$	$9,0 \times 10^{11}$
BAs	$5,2 \times 10^7$	$3,6 \times 10^9$	$6,2 \times 10^9$	$8,6 \times 10^{10}$
H y L	$3,2 \times 10^7$	$7,3 \times 10^6$	$5,0 \times 10^9$	$1,0 \times 10^{11}$

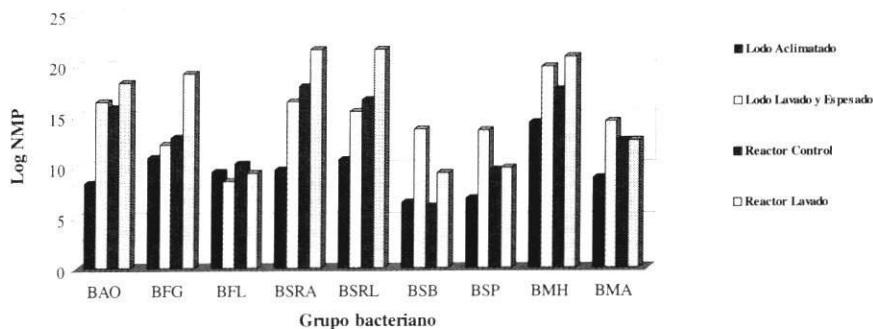


Figura 3 Cuantificación de grupos bacterianos

Tabla 4 Recuento relacionado con el metabolismo bacterial, expresado en NMP/g SSV de lodo

Grupo microbiano	Lodo aclimatado	Lodo lavado y espesado	Reactor control	Reactor tratamiento
Bacterias anaerobias obligadas BAOL	$2,5 \times 10^8$	$2,7 \times 10^{16}$	$6,5 \times 10^{15}$	$2,1 \times 10^{18}$
BFG	$7,1 \times 10^{10}$	$1,4 \times 10^{12}$	$7,7 \times 10^{12}$	$1,7 \times 10^{19}$
BFL	$3,1 \times 10^9$	$3,6 \times 10^8$	$1,8 \times 10^{10}$	$2,4 \times 10^9$
BSRAc	$4,5 \times 10^9$	$2,7 \times 10^{16}$	$8,5 \times 10^{17}$	$4,1 \times 10^{21}$
BSRLac	$4,5 \times 10^{10}$	$2,7 \times 10^{15}$	$3,8 \times 10^{16}$	$3,8 \times 10^{21}$
BSB	$3,0 \times 10^6$	$4,6 \times 10^{13}$	$1,3 \times 10^6$	$2,5 \times 10^9$
BSP	$7,2 \times 10^6$	$3,2 \times 10^{13}$	$4,6 \times 10^9$	$6,9 \times 10^9$
BMH	$2,1 \times 10^{14}$	$7,9 \times 10^{19}$	$4,6 \times 10^{17}$	$7,5 \times 10^{20}$
BMA	$7,2 \times 10^8$	$2,7 \times 10^{14}$	$3,8 \times 10^{12}$	$3,4 \times 10^{12}$

En estudios realizados por Noyola y Moreno [2] e igualmente por Espitia [13] *et al.* se encontró como población dominante las BSR.

Al lavar y espesar el lodo aclimatado se identificó un aumento en las poblaciones de BMH del orden 10^5 y de las BMA del orden 10^6 , sin embargo en las AME no se reflejó dicho aumento, es posible que aunque se presenta aumento de las poblaciones, al realizar la AME no se proporcionó sustrato suficiente.

El número elevado de BSR puede generar una competencia con las BMA ya que las primeras se

encuentran fisiológicamente mejor dotadas que las BMA para resistir condiciones adversas del medio [2]. Para el grupo de BMA se presentó un aumento significativo al aplicar la técnica de lavado, observándose luego una leve disminución durante la operación del reactor debido posiblemente a una competencia con las BSRAC por el sustrato acetato.

Al igual que en el caso anterior las bacterias sintróficas (BS) se potenciaron al aplicar la técnica de lavado, pero disminuyeron su número durante la operación del reactor.

Conclusiones

La cuantificación y conocimiento de los distintos grupos microbianos involucrados en la digestión anaerobia permiten correlacionar la eficiencia de los digestores anaerobios con la dinámica de crecimiento de estos grupos.

En el lodo obtenido a partir de un lodo mejorado por la técnica de lavado o presión selectiva se incrementaron los grupos bacterianos más representativos de la digestión anaerobia (bacterias metanogénicas y bacterias sintróficas). Por el contrario esta técnica no incidió en la estructura poblacional de microorganismos como las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, hongos y levaduras.

El ensayo de AME permitió estudiar la evolución de la estructura bacteriana de los cuatro lodos estudiados y correlacionarla con los distintos grupos bacterianos presentes. Los resultados experimentales muestran que el reactor tratamiento inoculado con el lodo lavado-espesado se comportó mejor que el reactor control inoculado con el lodo aclimatado; indicando que la técnica de lavado proporciona las condiciones para un inóculo de buena calidad.

Reconocimientos

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación "Optimización de la etapa de arranque de reactores anaerobios mediante el mejoramiento de la calidad de diferentes semillas en condiciones dinámicas de operación" conjuntamente con la Universidad del Valle, el Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental de la Universidad de Antioquia y el Instituto ORSTOM. Contó, además, con el apoyo de Colciencias.

Referencias bibliográficas

- Noyola, Adalberto *et al.* "Granule production from raw waste activated sludge". En: 7°. international symposium on anaerobic digestion. South Africa, 1994. pp. 765-774.
- Jianrong, Zhu *et al.* "The bacterial numeration and an observation of a new syntrophic association for granular sludge". En: *Wat. Sci. Tech.* Vol. 36. No. 6-7. Great Britain, 1997. pp. 133-140.
- Winkler, M. *Tratamiento biológico de aguas de desecho.* México. Limusa S.A. Grupo Oriega de editores. 1998. pp. 315-323.
- Ince, O. *et al.* "Composition of the microbial population in a membrane anaerobic reactor system during start-up". En: *Wat. Res.* Vol. 31. No. 1. Great Britain, 1997. pp. 1-10.
- Ramírez, L. *et al.* "Evaluación de potenciales semillas para la inoculación de reactores anaerobios". En: Memorias 5°. Seminario Taller Latinoamericano sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Bucaramanga, 1996. pp. 33-44.
- WEI-min, W. *et al.* "Cultivation of anaerobic granular sludge in UASB reactors with aerobic activated sludge as seed". En: *Wat. Res.* Vol. 21. No. 7. Great Britain, 1987.
- Mahoney, E. *et al.* "The effect of calcium on microbial aggregation during UASB reactor start-up". En: *Wat. Res. Tech.* Vol. 19. Great Britain, 1987.
- Jullapong, T. *et al.* "Different types of sludge granules in UASB reactors treating acidified waste-waters". En: *Antonie van Leeuwenhoek.* No. 68. 1995.
- Saldarriaga, J. C. "Evaluación de la presión selectiva y de la adición de bacterias liofilizadas como alternativas de mejoramiento de una semilla de lodo activado crudo espesado para el arranque de reactores UASB". Trabajo de grado. Maestría en Ingeniería Ambiental Universidad de Antioquia. 2000.
- Alazard, D. *et al.* *Microbiología de la digestión anaerobia y caracterización de lodos anaerobios.* Medellín. Universidad de Antioquia. 1997.
- Hulshoff, L. "The phenomenon of granulation of anaerobic sludge". Tesis doctoral wageningen. Holanda, 1989.
- Soubes, Matilde. "Microbiología de la digestión anaerobia". En: *tratamiento anaerobio de aguas residuales.* Uruguay, 1994. pp. 15-28.
- Espitia, Sandra *et al.* Evaluación preliminar de los grupos microbianos presentes en un lodo proveniente de una planta de tratamiento anaerobia. En: *Segundo simposio colombiano sobre biotecnología ambiental.* Tunja, 1998.