

## Effect of the organic load in the performance the UASB reactor treating slaughterhouse effluent

Yaxcelys Caldera<sup>1\*</sup>, Pedro Madueño<sup>2</sup>, Alonso Griborio<sup>2</sup>, Nola Fernández<sup>2</sup>  
y Edixon Gutiérrez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago (LIANCOL), Universidad del Zulia, Cabimas, Estado Zulia, Venezuela. <sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Facultad de Ingeniería. <sup>3</sup>Centro de Investigación del Agua (CIA), Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo Estado, Zulia, Venezuela.  
\*E-mail: yaxcelys@hotmail.com

### Abstract

The behavior of a UASB reactor of 4 L was studied at mesophilic condition treating wastewater from the meat industry. The organic loads (OL) of  $1.82 \pm 0.18$ ;  $3.21 \pm 0.27$ ;  $6.33 \pm 0.23$ ;  $8.40 \pm 0.19$ ;  $9.98 \pm 0.88$  and  $12.30 \pm 0.49$  kg COD/m<sup>3</sup>d, were evaluated at hydraulic retention time (HRT) of 24 h. During the experiment the following parameters were monitored to evaluate the operation of the reactor: pH, alkalinity, chemical oxygen demand (COD), temperature, biogas production, methane content in the biogas, production of volatile fatty acids (VFA), total suspended solids (TSS) and volatile suspended solids (VSS). Each OL stayed until reaching the stability in the operational parameters of the reactor. The results demonstrated the efficiency of the UASB reactor to treat slaughterhouse wastewaters for long range OL (1.82 - 12.30 kg COD/m<sup>3</sup>d). The COD removal percentage was 80% to OL 9.98 kg COD/m<sup>3</sup>d to HRT of 24 h. The increment of OL affected significantly the variables evaluated, (except pH). A decrease in COD removal and methane percentage were observed, while the VSS, alkalinity and VFA concentration were increased.

**Key words:** Slaughterhouse effluent, UASB reactor, anaerobic treatment, mesophilic condition.

## Efecto de la carga orgánica en el funcionamiento de un reactor UASB durante el tratamiento de efluente cárnico

### Resumen

Se estudió el comportamiento de un reactor UASB de 4 L bajo condiciones mesofílicas durante el tratamiento de agua residual de una industria cárnica, se evaluaron las cargas orgánicas (CO) de  $1,82 \pm 0,18$ ;  $3,21 \pm 0,27$ ;  $6,33 \pm 0,23$ ;  $8,40 \pm 0,19$ ;  $9,98 \pm 0,88$  y  $12,30 \pm 0,49$  kg DQO/m<sup>3</sup>d, a tiempo de retención hidráulico (TRH) de 24 h. Durante la experimentación se monitorearon los siguientes parámetros para evaluar el funcionamiento del reactor: pH, alcalinidad, demanda química de oxígeno (DQO), temperatura, producción de biogás, contenido de metano en el biogás, producción de ácidos grasos volátiles (AGV), sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV). Cada CO se mantuvo hasta alcanzar la estabilidad en los parámetros operacionales del reactor. Los resultados demostraron la eficiencia del reactor UASB para tratar aguas residuales de industrias cárnicas a un amplio rango de CO (1,82 - 12,30 kg DQO/m<sup>3</sup>d). Se obtuvo un porcentaje de remoción de DQO de 80% para una CO de 9,98 kg DQO/m<sup>3</sup>d a TRH de 24 h. El incremento en la CO influyó significativamente sobre la variabilidad de los parámetros evaluados (con excepción del pH), ocasionando la disminución del porcentaje de remoción de DQO y del porcentaje de metano y el aumento en las concentraciones SSV, alcalinidad y AGV.

**Palabras clave:** Efluente cárnico, reactor UASB, tratamiento anaerobio, condiciones mesofílicas.

## Introducción

Los efluentes líquidos de las industrias cárnicas se caracterizan por un alto contenido de materia orgánica (DQO), sólidos suspendidos, grasas, nitrógeno y fósforo. Sus características varían dependiendo del proceso industrial y del consumo de agua [1]. Estos efluentes son el resultado de la mezcla de las distintas líneas de los procesos de desangrado, desosado, mondonguiería, tripería y lavado de corales [2]; su composición y el flujo generalmente dependen del número de animales sacrificados [3]. Los principales efectos perjudiciales de los vertidos de las fábricas de productos cárnicos son: la disminución del oxígeno, depósito de fangos, colores y una situación general desagradable. Si estas aguas residuales no son tratadas, antes de su descarga, contribuyen a la degradación de los medios acuáticos [4]. Dado el alto contenido de materia orgánica presente en los efluentes cárnicos, los sistemas biológicos anaerobios son los más convenientes para su tratamiento [5].

El proceso de tratamiento anaerobio ha sido ampliamente conocido por su capacidad para convertir desechos en productos útiles, como metano, una excelente fuente de energía [6]. Los sistemas de tratamiento anaerobios modernos son flexibles, aplicándose para un amplio rango de aguas residuales de composición simple o compleja, con cargas orgánicas bajas, moderadas o altas a diferentes rangos de temperatura [7]. El desarrollo del reactor anaerobio de manto de lodo de flujo ascendente UASB (por sus siglas en inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket) representa la principal ventaja de la digestión anaerobia como sistema de tratamiento de aguas residuales de alta carga [8]. Hoy en día el reactor UASB se ha aplicado para tratar una variedad de aguas residuales industriales, destacándose por su capacidad de retener biomasa, por la formación de lodo granular con altas propiedades de sedimentación y por manejar altas cargas orgánicas a TRH cortos [9]. Su factibilidad fue demostrada para aguas residuales de alta carga, como los efluentes de matadero [10].

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento del reactor UASB mesofílico a flujo continuo, a escala de laboratorio, durante el tratamiento de agua residual de una industria

cárnica, con el fin de determinar la eficiencia de remoción de materia orgánica, para diferentes cargas orgánicas (CO) a TRH de 24 horas.

## Materiales y Métodos

### Equipo experimental

Para realizar el estudio se utilizó un reactor UASB construido en plexiglás, con una capacidad de 4030 mL, altura total 68 cm y diámetro externo 10,5 cm. El reactor se inoculó con lodo anaerobio granular (un 30% del volumen útil del reactor) proveniente de reactor anaerobio de una industria cervecera. En el fondo del reactor se colocó grava para proveer una distribución uniforme del flujo, la que ocupó aproximadamente un 4% del volumen útil del reactor (162 mL). El gas producido en el reactor fue medido por desplazamiento del agua en un colector de gas conectado a un tanque abierto a la atmósfera, el cual contenía agua acidificada (ácido sulfúrico 0,1 N) para reducir la solubilidad del  $\text{CO}_2$ , y expresado como litro por día a condiciones estándar de temperatura y presión, STP ( $273^\circ\text{K}$  y 1 atm). El reactor se colocó en un cuarto mesofílico a temperatura controlada a  $37^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  en el laboratorio. La Figura 1 muestra el esquema de funcionamiento del reactor.

El reactor comenzó a funcionar por carga durante 72 h, después de inoculado, con agua residual sintética constituida por: agua destilada, solución de glucosa y nutrientes [11]. Se inició con una DQO de aproximadamente 1000 mg DQO/L de agua residual sintética, para lo cual se

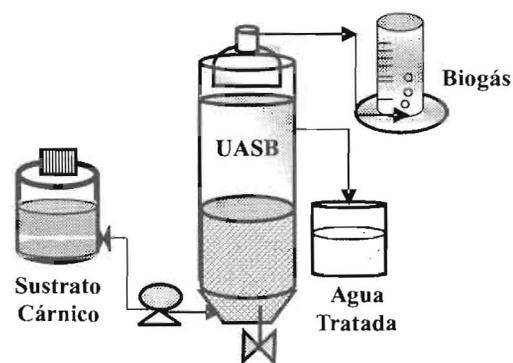


Figura 1. Reactor UASB usado en el laboratorio para estudiar la biodegradación del efluente cárnico.

agregó una cantidad adecuada de glucosa (1 g glucosa/L de agua destilada). Adicionalmente, para ajustar el pH a 6,7-7,5 se agregó bicarbonato de sodio en una cantidad equivalente de 1 g/L.

Posteriormente fue puesto en funcionamiento a flujo continuo con el mismo sustrato, para un tiempo de retención de 24 h, regulando el caudal de entrada con una bomba peristáltica a 2,8 mL/min. Después de estabilizado el sistema, se alimentó diariamente el reactor con efluente cárnico iniciando con una CO de  $1,82 \pm 0,18$  kg DQO/m<sup>3</sup>d sin ajuste del pH. Se consideraron como valores estables en los parámetros de operación del sistema: reducción de DQO superior a 80%, producción de metano superior a 0,10 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg DQO removida a STP y valores de la relación AGV/AB menores de 0,30 [12].

### Agua residual

La muestra de efluente cárnico fue suministrada por El Matadero San Isidro, ubicado en la vía La Concepción a 15 km de Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela. El promedio diario de animales sacrificados, para el momento de la experimentación, fue de 20 a 30 bovinos, 10 a 15 porcinos y 4 a 7 ovinos. La muestra de agua residual fue tomada directamente del tanque de almacenamiento temporal del efluente en el matadero. El agua residual llegaba al tanque por un sistema de canales y tuberías conectados a los diferentes puntos del proceso productivo: limpieza de corrales, sala de matanza y secciones de subproductos. El efluente, antes de llegar al tanque, pasaba por una tanquilla que contenía una rejilla a la entrada donde se retenían los sólidos de mayor tamaño presentes en el agua residual. Las muestras colectadas se almacenaron en envases plásticos de 20 L de capacidad, se trasladaron al laboratorio y se refrigeraron a 4°C para su conservación; posteriormente fueron analizadas e incorporadas al reactor para su tratamiento.

### Control y análisis del sistema

El comportamiento del reactor UASB, durante el tratamiento de las aguas residuales de una industria cárnica, fue estudiado para diferentes CO (Tabla 1). Se inició con una CO de  $1,82 \pm 0,18$  kg DQO/m<sup>3</sup>d y se varió la concentración para obtener las CO de  $3,21 \pm 0,27$ ;  $6,33 \pm 0,23$ ;  $8,40 \pm 0,19$ ;  $9,98 \pm 0,88$  y  $12,30 \pm 0,49$  kg

Tabla 1  
Condiciones de operación del reactor UASB a TRH de 24 h

Tiempo de evaluación (días)	Concentración de DQO (mg/L)	Carga orgánica (kg DQO/m <sup>3</sup> d)
01 - 12	$1820 \pm 177$	$1,82 \pm 0,18$
13 - 26	$3211 \pm 269$	$3,21 \pm 0,27$
27 - 42	$6334 \pm 230$	$6,33 \pm 0,23$
43 - 57	$8400 \pm 188$	$8,40 \pm 0,19$
58 - 72	$9975 \pm 881$	$9,98 \pm 0,88$
73 - 90	$12300 \pm 494$	$12,30 \pm 0,49$

DQO/m<sup>3</sup>d, a TRH de 24 horas (TRH utilizado por diversos investigadores para evaluar el funcionamiento de este tipo sistema con sustrato cárnico). Se comenzó con CO diluidas (las diluciones se realizaron con agua destilada) y se disminuyó progresivamente el factor de dilución trabajando en algunos casos con la muestra pura. Cada CO se mantuvo hasta alcanzar valores estables en los parámetros de operación del reactor.

Se evaluaron los siguientes parámetros: pH, alcalinidad, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV) tanto a la entrada como a la salida del reactor, según lo establecido en la metodología del estándar métodos [13].

Adicionalmente, se determinó por cromatografía, según condiciones de operación descritas por Caldera y col. [14], la concentración de los siguientes ácidos grasos volátiles (AGV): ácido acético, ácido propiónico y ácido butírico a la salida del reactor, así como la concentración de metano contenido en el biogás.

La evaluación de las muestras se realizó por triplicado calculando para cada caso el promedio y la desviación estándar. El tratamiento estadístico fue realizado utilizando el programa de computación SPSS 10.0 para windows.

## Resultados y Discusión

Las muestras recolectadas durante el curso de la investigación se analizaron y se obtuvo la caracterización del agua residual de la industria cárnica (Tabla 2). Se observa que el efluente cum-

ple con los requerimientos nutricionales necesarios para llevar a cabo la actividad biológica, por lo que no fue necesario agregar nutrientes al agua residual.

### Funcionamiento del reactor

El reactor se alimentó inicialmente con glucosa como sustrato a una CO baja de  $1,09 \pm 0,16$  kg DQO/m<sup>3</sup>d, obteniéndose un alto porcentaje de remoción de materia orgánica para esta CO con valores promedio de  $89,98 \pm 3,22\%$ , demostrando la actividad del lodo anaerobio. Debido a este comportamiento se procedió a cargar el reactor con el efluente cárnico, realizando las respectivas diluciones, con agua destilada, para alcanzar la CO de  $1,82 \pm 0,18$  kg DQO/m<sup>3</sup>d, manteniendo el mismo TRH, 24 h. La Tabla 3 presenta las CO evaluadas y los porcentajes de remoción de DQO obtenidos y la Figura 2 muestra el comportamiento del porcentaje de remoción en términos de DQO.

La CO de  $1,82 \pm 0,18$  kg DQO/m<sup>3</sup>d se evaluó durante 12 días y se obtuvo una variación en el porcentaje de remoción de DQO entre 91% y 95%. Dado el alto porcentaje de remoción de materia orgánica obtenido se continuó incrementando la CO a  $3,21 \pm 0,27$  kg DQO/m<sup>3</sup>d observándose el mismo comportamiento, valor máximo de 95% y mínimo de 91%. Posteriormente se aumentó la CO a  $6,33 \pm 0,23$  kg DQO/m<sup>3</sup>d, donde se obtuvo una remoción de DQO promedio del  $92,52 \pm 1,51\%$ , para el mismo TRH 24 h. Estas CO se evaluaron por 13 y 16 días, respectivamente. El reactor durante el tratamiento del efluente cárnico para las CO de 1,82; 3,21 y 6,33 kg DQO/m<sup>3</sup>d, para un TRH de 24 h a  $37^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ , mostró un comportamiento similar y en algunos casos superior al obtenido para la glucosa. Esto demuestra que el efluente cárnico presenta los requerimientos nutricionales necesarios para que los microorganismos anaerobios cumplan su función de degradar la materia orgánica, lo que hace que este tratamiento sea adecuado para el tratamiento de este tipo de efluente [15].

En este estudio se obtuvieron porcentajes de remoción de DQO mayores a los reportados por Del Nery y col. [16], Martínez y col. [2], Manjunath y col. [3] y Ruiz y col. [17], durante el tratamiento de efluentes cárnicos. Del Nery y col. [16] encontraron que para las CO de 1,09; 1,15 y 1,54

Tabla 2  
Características del efluente cárnico

Parámetro	Concentración promedio
pH	6,6
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	1100
SST (mg/L)	850
SSV (mg/L)	680
DQO (mg/L)	12300
COT (mg/L)	3500
N (mg/L)	1176
P (mg/L)	92

Tabla 3  
Remoción de demanda química de oxígeno (DQO) para las diferentes cargas orgánicas (CO) evaluadas a TRH de 24 h

Tiempo de evaluación (días)	Carga orgánica (kg DQO/m <sup>3</sup> d)	Remoción de DQO (%)
01 - 12	$1,82 \pm 0,18$	$92,89 \pm 1,42$
13 - 26	$3,21 \pm 0,27$	$93,46 \pm 1,91$
27 - 42	$6,33 \pm 0,23$	$92,52 \pm 1,51$
43 - 57	$8,40 \pm 0,19$	$82,29 \pm 1,84$
58 - 72	$9,98 \pm 0,88$	$80,36 \pm 2,10$
73 - 90	$12,30 \pm 0,49$	$71,51 \pm 2,43$

kg DQO/m<sup>3</sup>d con TRH de 1,98 d; 1,65 d y 1,68 d, respectivamente, las remociones de DQO para tres reactores UASB a escala fueron de 88%, 77% y 84%-86%. Martínez y col. [2] reportaron una eficiencia de remoción de DQO del 77% para una CO de 1,8 kg DQO/m<sup>3</sup>d, para un sistema de dos reactores UASB a escala de laboratorio; mientras que Manjunath y col. [3], en un reactor UASB de 11,4 L con una CO de 4 kg DQO/m<sup>3</sup>d para TRH 22 h, encontraron una remoción de DQO del 60% a 68%. Ruiz y col. [17] trabajando con efluentes cárnicos de alto contenido de materia orgánica (8000 mg DQO/L) en un reactor UASB de 2 L a condiciones mesofílicas (37°C) obtuvieron una remoción de 90% y 60% para las CO de 5 y 6,5 kg DQO/m<sup>3</sup>d, respectivamente, a un TRH de 28,8 h.

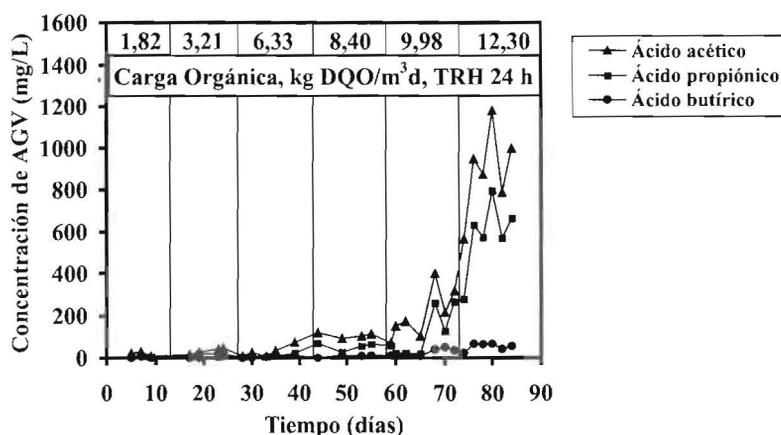


Figura 3. Variación de la concentración de AGV durante la experimentación.

igual a 0,34) se obtuvo una producción de metano del 62,0% (Figura 4).

Núñez y Martínez [23], obtuvieron una relación AGV/AB entre 0,22 y 0,17; durante el tratamiento de un efluente cárnico en un reactor de lecho de lodo granular expandido (EGSB), indicando que no hubo acumulación de AGV dentro del reactor. Del Nery y col. [1] reportaron concentraciones menores de AGV en efluente cárnico, a CO bajas, tratado en reactores UASB. Obtuvieron valores en el rango de 44-95 mg/L, indicando que estos valores son adecuados para este sistema y representan el equilibrio de la población microbiana activa en el proceso. La máxima CO evaluada fue de 2,1 kg DQO/m<sup>3</sup>d a TRH de 17 h. Del Pozo y col. [24] observaron un episodio de acidificación en un reactor anaerobio de película fija durante el tratamiento de efluentes cárnicos. Al aumentar la CO de 3,7 a 9,2 kg DQO/m<sup>3</sup>d, la relación de alcalinidad incrementó de 0,37 a 0,50 y la eficiencia de remoción de DQO disminuyó desde 64% a 35%.

Los valores de concentración de AGV obtenidos en este estudio se encuentran dentro del rango considerado óptimo, 50-500 mg/L, para la degradación anaerobia de materia orgánica, con excepción de las CO de 12,30 ± 0,49 kgDQO/m<sup>3</sup>d [25].

Los valores de porcentaje de metano se mantuvieron en el rango de 59% a 75%. Estos resultados son comparables a los obtenidos por Martínez y col. [2] y Núñez y Martínez [23] durante el tratamiento de efluentes cárnicos en sistemas anaerobios. Martínez y col. [2] obtuvieron

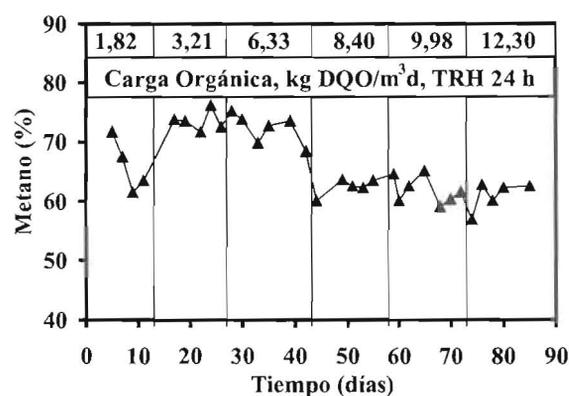


Figura 4. Variación del porcentaje de metano en el biogás durante la experimentación.

una producción de metano en el biogás de 65% para una CO de 1,8 kg DQO/m<sup>3</sup>d. Núñez y Martínez [23], evaluaron CO en el rango de 6,3 - 2,9 kg DQO/m<sup>3</sup>d para TRH de 15 h y obtuvieron porcentajes de metano promedio de 60,5%, concluyen que la actividad metanogénica no fue deteriorada al aumentar la CO debido a las condiciones adecuadas de pH 7,7 y alcalinidad 980 mg CaCO<sub>3</sub>/L.

La Tabla 4 muestra los resultados del estudio de correlación múltiple realizado con la finalidad de conocer la relación existente entre los diferentes parámetros evaluados, considerando un nivel de significancia al nivel 0,05 y n = 35. Se observa una correlación significativa de la carga orgánica y la remoción de DQO con todos los parámetros evaluados (con excepción del pH). Los valores de pH del sistema se mantuvieron en el ran-

Tabla 4  
Resultados del análisis de correlación múltiple entre algunos parámetros evaluados, durante el tratamiento del efluente cárnico, considerando un nivel de significancia al nivel 0,05 y n= 35

Variable	Carga orgánica	Remoción DQO	Metano	Alcalinidad total	pH	Biogás	SSV	AGV (acético)
Carga orgánica	-	- 0,80*	- 0,69*	0,95*	<b>0,44</b>	0,98*	0,87*	0,70*
Remoción DQO	-	-	0,68*	- 0,67*	<b>- 0,08</b>	- 0,78*	- 0,81*	- 0,69*
Metano	-	-	-	- 0,65*	<b>- 0,31</b>	- 0,72*	- 0,56*	- 0,50*
Alcalinidad total	-	-	-	-	0,61*	0,92*	0,73*	0,56*
pH	-	-	-	-	-	<b>0,42</b>	<b>0,06</b>	<b>0,04</b>
Biogás	-	-	-	-	-	-	0,86*	0,70*
SSV	-	-	-	-	-	-	-	0,70*
AGV (acético)	-	-	-	-	-	-	-	-

\*Correlación significativa a la nivel 0,05.

go de  $6,9 \pm 0,1$  -  $7,2 \pm 0,1$ ; valores aceptables para el crecimiento de los organismos anaerobios, superiores a 4,0 e inferiores a 9,0 [25].

El incremento en la CO influyó significativamente sobre la variabilidad de los parámetros evaluados. A medida que se incrementó CO disminuyó el porcentaje de remoción de DQO y disminuyó el porcentaje de metano ( $r = - 0,80$  y  $- 0,69$ , respectivamente), mientras que el volumen de biogás (STP) y las concentraciones de SSV, alcalinidad y AGV aumentaron. La remoción de DQO fue afectada significativamente por el incremento en la concentración de los AGV ( $r = - 0,70$ ), lo que podría deberse a la acumulación de estos AGV en el reactor, produciendo deterioro del lodo por lo que incrementó la concentración de los SSV a la salida. Una correlación positiva se observó entre la remoción de DQO y la producción de metano ( $r = 0,68$ ).

La producción de biogás aumentó con el incremento de la CO ( $r = 0,98$ ), sin embargo el porcentaje de metano disminuyó lo que indica la presencia de otros gases en el biogás ( $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ ). La presencia de estos gases en el biogás estaría asociada a una deficiencia en el proceso de conver-

sión del sustrato por parte de los microorganismos metanogénicos hidrogenotróficos.

## Conclusiones

Los resultados demostraron la eficiencia del reactor UASB para tratar las aguas residuales de las industrias cárnicas a un amplio rango de cargas orgánicas ( $1,82 - 12,30 \text{ kg DQO/m}^3\text{d}$ ). Se obtuvo un porcentaje de remoción de DQO de 80% para una CO de  $9,98 \text{ kg DQO/m}^3\text{d}$  a TRH de 24 h.

El incremento en la CO influyó significativamente sobre la variabilidad de los parámetros evaluados (con excepción del pH), ocasionando la disminución del porcentaje de remoción de DQO y del porcentaje de metano, así como un aumento en el volumen de biogás, y en las concentraciones de SSV, alcalinidad y AGV.

El sistema mantuvo el equilibrio ácido-base, a pesar de la alta concentración de AGV durante la evaluación de la CO de  $12,30 \text{ kg DQO/m}^3\text{d}$ , obteniéndose un porcentaje de remoción de DQO de 71,5% y un porcentaje de metano 62,0%.

La producción de metano varió en el rango de 59% a 75% durante la evaluación de los diferentes CO.

### Agradecimiento

Los autores agradecen al Fondo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovaciones (FONACIT) y al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES).

### Referencias Bibliográficas

1. Del Nery V., Damianovic M. y Barros F. "The use of upflow anaerobic sludge blanket reactors in the treatment of poultry slaughterhouse wastewater". *Water Sci. Tech.* Vol. 44 No. 4 (2001a) 83-88.
2. Martínez J., Borzacconi L., Mallo M., Galisteo M. y Viñas M. "Treatment of slaughterhouse wastewater". *Water Sci. Tech.* Vol. 32 No. 12 (1995) 99-104.
3. Manjunath N., Mehrotra I. y Mather R. "Treatment of wastewater from slaughterhouse by DAF-UASB system". *Water Res.* Vol. 34 No. 6 (2000) 1930 - 1936.
4. Couillard D., Garipey S. y Tran F. "Slaughterhouse effluent treatment by thermophilic aerobic process". *Water Res.* Vol. 5 (1989) 573-579.
5. Martínez J., Borzacconi L., Mallo M. y Viñas M. "Tratamiento de aguas residuales de frigorífico. III Taller y Seminario Latinoamericano sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Uruguay. (1994) 263-279.
6. McCarty P. "The development of anaerobic treatment and its future". *Water Sci. Tech.* Vol. 44 No. 8 (2001) 149-156.
7. Lettinga G. "Digestion and degradation, air for life". *Water Sci. Tech.* Vol. 44 No. 8 (2001) 157-176.
8. Van Lier J., Van der Zee F., Tan N., Rebac S. y Kleerebezem R. "Advances in high-rate anaerobic treatment: staging of reactor systems". *Water Sci. Tech.* Vol. 44 No. 8 (2001) 15-25.
9. Lepistö R. y Rintala J. "Extreme thermophilic (70°C), VAF-FED UASB reactor; performance, temperature response, load potential and comparison with 35 and 55°C UASB reactor". *Water Res.* Vol. 33 No. 14 (1999) 3162-3170.
10. Lettinga G. "Anaerobic digestion and wastewater treatment systems". *Antonie van Leeuwenhoek.* Vol. 67 No. 1 (1995) 3-28.
11. Chacín E. Treatment characteristics of two phase anaerobic system using a UASB reactor. University of Birmingham. England. PhD Thesis (1993) 151 pp.
12. Noyola A. "Diseño, inoculación y arranque de reactores UASB". II Taller y Seminario Latinoamericano sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Uruguay. (1994) 133-
13. APHA, AWWA, WCF. "Standard methods for examination of water and wastewater". 18th Edn. Washington, DC, USA. (1992).
14. Caldera Y., Madueño P., Griborio A., Gutiérrez E., Chacín E. y Fernández N. Tratamiento anaerobio de efluentes cárnico-láctico en un reactor por carga. *Bol. Centro Invest. Biol.* Vol. 36 No. 3 (2002) 217-374.
15. Caixeta C., Cammarota M. y Xavier A. "Slaughterhouse wastewater treatment: evaluation of a new three-phase separation system in a UASB reactor". *Bioresource Technol.* Vol. 81 No. 1 (2002) 61-69.
16. Del Nery V., Pozzi E., Damianovic M. y Barros F. "Upflow anaerobic sludge blanket reactors treating poultry slaughterhouse wastewater under different design and operational parameters". *Anaerobic Convention for sustainability.* Antwerpen, Belgium. September 2-6. (2001b) 423-427.
17. Ruiz I., Veiga M., De Santiago P. y Blázquez R. "Treatment of slaughterhouse wastewater in a UASB reactor and an anaerobic filter". *Bioresource Technol.* Vol. 60 No. 3 (1997) 251-258.
18. Sayed S., Van Campen L. y Lettinga G. "Anaerobic treatment of slaughterhouse waste using a UASB granular". *Biol Wastes.* Vol. 21 (1987) 11-28.
19. Hernández A. "Depuración de aguas residuales". Segunda Edición. Colección senior N° 9. Madrid. Capítulo 10. (1995) 765-792.
20. Monroy O. "Control de la digestión anaerobia". III Taller y Seminario Latinoamericano

- sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Uruguay. (1994)185-194.
21. Alexiou I. y Anderson G. "Acidification reactor for the pre-treatment of high strength agro-industrial wastewater". Anaerobic Convention for sustainability. Antwerpen. Belgium. September 2-6. (2001) 525-530.
  22. Pley R., Boyle W. and Converse J. "Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength". J. Wat. Poll. Vol. 58 No. 5 (1993) 406-411.
  23. Núñez L. y Martínez B. "Anaerobic Treatment of Slaughterhouse wastewater in an expanded granular sludge bed (EGSB) reactor". Water Sci. Tech. Vol. 40 No. 8 (1999), 99-106.
  24. Del Pozo R., Díez V. y Salazar G. "Start-up of a pilot-scale anaerobic fixed film reactor at low temperature treating slaughterhouse wastewater". Water Sci. Tech. Vol 46 No. 4-5 (2002) 215-221.
  25. Metcalfy Eddy. "Tratamiento y depuración de las aguas residuales". Edit. McGraw Hill. España. Capítulo 8. (1995) 478-488.

Recibido el 22 de Noviembre 2004  
En forma revisada el 13 de Junio 2005