

TRATAMIENTO DE RESIDUOS GANADEROS EN UN REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)

Rocio Flores Borja^{i*}, Maria T. Alarcón Herrera¹, Cristina E. Vélez Sánchez Verín² e Ignacio R. Martín Domínguez¹

¹Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), Av. Miguel de Cervantes 120. Complejo Ind. Chihuahua.

²Fac. de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), Perif. R. Almada Km 1. Chihuahua, Chih. México.

Cattle manure treatment in an up flow anaerobic sludge blanket reactor (UASB)

Resumen

El objetivo de este estudio fue caracterizar el estiércol de ganado vacuno con manejo estabulado generado en el municipio de Chihuahua, México, para estimar el potencial de generación de biogás y analizar la influencia de la temperatura y recirculación en la producción de metano. Para la caracterización del residuo se muestreó el estiércol de 17 ejidos y se determinó Sólidos Totales (ST), Sólidos Fijos (SF), Sólidos Volátiles (SV), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Fósforo Total (PT), Nitratos (NO₃-N), Alcalinidad Total (AT), pH, metales pesados (Co, Cr, Ni, Pb, Zn, Mn, Cu, Fe y Al) y macroelementos C, H, O, N, S, y P. El estudio se llevo a cabo en un prototipo de reactor UASB de 5 L operado en forma semicontinua con carga orgánica de 6 kg SV/m³/día y 7% de ST en el afluente, a dos niveles de temperatura (25 ± 2°C y 39 ± 2°C) y con recirculación del residuo en forma semicontinua. Los resultados de la caracterización del residuo muestran una concentración promedio de 954,817 mg kg⁻¹ de DQO, 66,813 mg kg⁻¹ de AT y 8.3 de pH. Los metales presentes en el residuo que excedieron las concentraciones tóxicas para la degradación anaerobia fueron Fe, Al y Cu. La relación de carbono nitrógeno (C/N) promedio fue de 18/1 y la relación de Carbono: Fosforo (C/P) fue de 89/1, estando dentro del intervalo óptimo para la degradación anaerobia. La producción de biogás en el prototipo fue de 6 y 60 L de biogás por kg de SV agregado, de 38 y 361 L de biogás por m³ de reactor, de 3 y 38 L de CH₄ por kg de SV agregado y de 42 y 542 L de CH₄ por kg de SV removido, operando a 25 y 39°C respectivamente. La recirculación del residuo incrementó la remoción de carga orgánica. Se concluye que el residuo tiene potencial de aprovechamiento para producir biogás, considerando que la relación de nutrientes es aceptable y las eficiencias obtenidas de producción de biogás por m³ de reactor y de metano por kg de SV removido son satisfactorias, considerando como requerimiento el control de las concentraciones de metales pesados.

Palabras clave: Anaerobio, estiércol de vaca, reactor UASB, biogás.

* Autor para correspondencia

E-mail: wrocio78@hotmail.com; fax: + 6144196880

Introducción

El sector pecuario global está sufriendo cambios dramáticos, impulsado por una población creciente, el incremento de los ingresos y la urbanización progresiva. La demanda de productos pecuarios en el mundo en desarrollo, se espera que se duplique durante las próximas dos décadas (LEAD y FAO, 2006). Los sistemas actuales de producción ganadera tienen consecuencias ambientales negativas, agudizándose en los países menos desarrollados con menor disponibilidad de a la tecnología para tratar los residuos generados como el estiércol, que se genera en grandes cantidades por el manejo intensivo de ganado.

En México en los años de 1993 al 2003 se incrementó la producción de ganado vacuno en un 33% aproximadamente. En el año 2003 el inventario de cabezas de ganado fue de 2,169,669 correspondiendo un 10% al Estado de Chihuahua (SAGARPA, 2003). Es por ello que se deben incorporar sistemas de aprovechamiento y reducción de residuos para minimizar el impacto ambiental, siendo posible además la obtención de subproductos altamente valorados a partir de la degradación anaerobia del estiércol como lo es el Biogás, para su uso como combustible no convencional, siendo además un recurso renovable.

La digestión anaerobia a escala ha recibido atención en los últimos años como una tecnología para producir combustible aprovechando el estiércol y otros desperdicios orgánicos en una forma más eficiente (García, 1999), puede ser un sistema biológico controlado para reducir substancialmente el impacto de la contaminación por estiércol en el agua y aire (Kurt, 2003), además de contribuir a disminuir problemas sanitarios (Esquivel *et al.*, 2000).

La finalidad de este trabajo fue conocer la situación actual de generación de estiércol en los ejidos con manejo estabulado de ganado vacuno específicamente en el municipio de Chihuahua, determinando cualitativamente los componentes mas importantes del estiércol para determinar sus condiciones como residuo contaminante y su factibilidad de aprovechamiento para la generación de biogás, además de cuantificar la generación de este residuo en los sitios muestreados. Así mismo, se prueba la eficiencia de biometanización del estiércol generado en la Facultad de Zootecnia ubicada en la Cd. de Chihuahua, para cuantificar la cantidad de biogás y su composición de metano, utilizando un reactor anaerobio de lecho ascendente de manto de lodos (UASB por sus siglas en ingles).

Materiales y métodos

Se colectaron muestras de estiércol fresco de establos de ganado vacuno principalmente lecheros de 17 ejidos ubicados dentro el municipio de

Chihuahua los cuales fueron Ej. Chuvistar, Ej. Soto, Ej. Sierra Azul, Ej. Carrizalillo, Ej. Y Col. Cuauhtemoc, Ej. El Fresno, Ej. Abraham Gonzales, Ej. Mapula, Ej Labor de Terrazas, Ej. Y Col. Sacramento, Ej. Labor de Dolores, Ej. Rancho de En medio, Ej. Tabalaopa, Ej. Y Col. Ocampo y el sitio de la Facultad de Zootecnia. Se colectó el estiércol según el tamaño de muestra (establos) recomendado estadísticamente con una selección aleatoria; Las muestras fueron secadas, mezcladas y homogenizadas para obtener muestras compuestas por ejido. Los parámetros considerados para la caracterización del estiércol fueron: pH, Sólidos Totales (ST), Sólidos Fijos (SF), Sólidos Volátiles (SV), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Fósforo Total (PT), Nitratos ($\text{NO}_3\text{-3}$) y Alcalinidad Total (AT). Los metales determinados con un equipo de absorción atómica fueron: Co, Cr, Ni, Pb, Zn, Mn, Cu, Fe y Al. Los macroelementos determinados mediante un analizador elemental fueron: C, H, O, N, S, y P. La determinación de metales pesados y macroelementos se realizo solo a muestras de 7 sitios escogidas al azar.

Para cuantificar y analizar el biogás producido por el estiércol se construyó un prototipo de reactor UASB de 5 L operado en forma semi-continua en base a los parámetros operacionales recomendados en la literatura (CO de 6 kg SV/m³/día y 7 % de ST en el afluente) con estiércol de los establos de la Facultad de Zootecnia. En la figura 1 se muestra el diseño del prototipo de reactor UASB que se opero en este estudio.

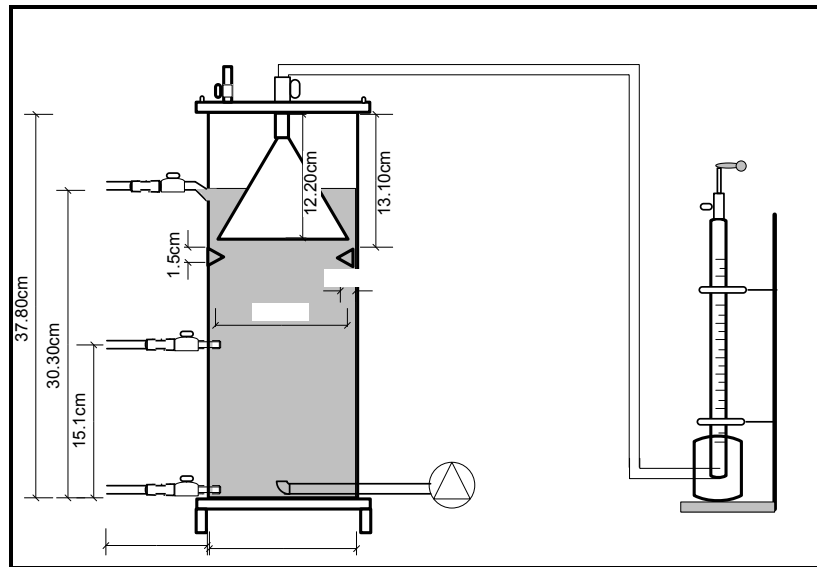


Figura 1. Diseño del prototipo del reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

Las variables de operación del reactor fue el efecto de la temperatura en dos niveles (25 ± 2 °C y 39 ± 2 °C) y la recirculación del residuo en forma semi continua. Al inicio de la operación del reactor, éste se inocula con 40% de lodo anaerobio y se operó 32 días para cada nivel de temperatura, cargando el residuo 1 vez al día. Los parámetros medidos en el afluente y efluente fueron: ST, SF, SV, DQO, AT y pH. La composición del biogás se determinó en un cromatógrafo de gases marca Perkin Elmer intruments modelo Clarus 500

con detector de conductividad térmica, en donde la separación de los gases fue llevada a cabo en una columna de 6 ft x 1/8", empacada con Porapak Q. La cuantificación de las concentraciones de CH_4 y CO_2 se realizó por medio de los factores relativos de respuesta correspondientes a cada compuesto (Dabrio, 1971).

Resultados y discusión

Los resultados de la caracterización del estiércol (valores promedio) fueron: 95

% de ST, 27 % de SF, 73 % de SV, $954,817 \text{ mg kg}^{-1}$ de DQO, $602,267 \text{ mg kg}^{-1}$ de PT, 108 mg kg^{-1} de NO_3^- , $66,813 \text{ mg kg}^{-1}$ de AT y pH de 8.3. El Fe sobrepasa la concentración tóxica de $2,550 \text{ mg L}^{-1}$ (CEPIS, 2001) para el proceso anaerobio en todas las muestras analizadas. El Cu sobrepasa la concentración de inhibición de 40 mg L^{-1} (CEPIS, 2001) en la muestra de un ejido. La concentración promedio de Al en las muestras fue de $3,465 \text{ mg L}^{-1}$. No se encontró la concentración inhibitoria o tóxica para el caso de este último metal, sin embargo se considera que la concentración es alta en comparación a los demás metales. En la tabla 1 se muestran los resultados de las concentraciones de metales pesados encontradas en las muestras de los sitios o ejidos seleccionados al azar. En la tabla se resaltan las concentraciones que sobrepasaron las concentraciones inhibitorias o tóxicas.

Manguera
1/4"

1.5cm

13.0cm

Manguera
1/2"

Manguera
1/2"

10.0cm

14.5cm

Tabla 1. Concentraciones de metales pesados inhibidoras y tóxicas para el proceso anaerobio, comparadas con las encontradas en el estiércol de los sitios muestreados (Concentraciones en mg L⁻¹).

Metal	Conc. Inhib.	Conc. tóxica	Fac. Zoot.	Tabalapa	Cusuht.	Sierra Azul	Rancho En medio	Carrizalillo	Mapula
Co	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cr	-	500	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	100	1,000	7	6	ND	ND	ND	ND	ND
Pb	-	500	ND	ND	10	10	20	10	20
Zn	400	600	148	100	70	100	160	60	120
Mn	-	-	114	154	170	200	210	160	170
Cu	40	70	24	11	20	20	50	10	10
Fe	850	2,550	935	1,548	2,950	4,790	3,500	3,080	2,350
Al	-	-	1,685	3,027	3,730	4,870	3,780	3,510	3,650

ND = No detectado con este método.

En la determinación de macroelementos se obtuvo que la relación de C/N promedio del estiércol fue de 18/1 y 89/1 de C/P, las cuales están dentro del rango óptimo para la degradación anaerobia, 15-45/1 de C/N (Flotats *et al.*, 1997) y 75/113 de C/P (Speece, 1987 citado por Campos *et al.*, 2001). A partir de la determinación de macroelementos y aplicando la relación estequiométrica se estimó que la producción teórica de biogás, siendo esta de 187 L / kg de SV con 56 % de CH₄ para el estiércol de la Facultad de Zootecnia y 271 L / kg de SV con 52 % de CH₄ en promedio para los demás ejidos caracterizados.

Los resultados de la operación del prototipo fueron los siguientes: la concentración promedio de DQO del afluente fue de 80,072 ± 3,288 mg L⁻¹ durante toda la operación del reactor, mientras que la del efluente resultó en 66,615 mg L⁻¹ operando a 25°C y de 80,173 mg L⁻¹ operando a 39°C, observándose que no se tuvo reducción de este parámetro en el efluente tratado. La

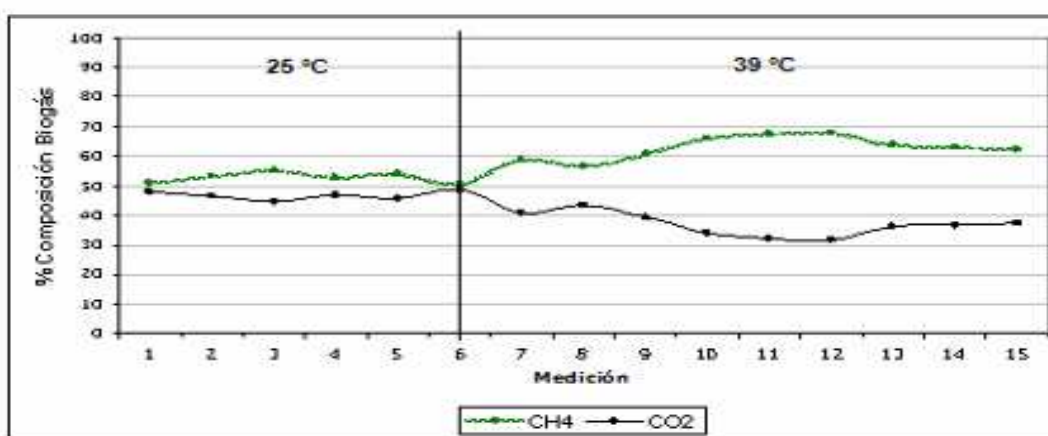
concentración promedio de ST del afluente fue de 7.35 ± 0.95 % durante toda la operación del reactor, mientras que la del efluente resultó en 5.37 % operando a 25°C y de 6.72 % operando a 39°C. La concentración promedio de SV del afluente fue de 83.13 ± 7.90 % durante toda la operación del reactor, mientras que la del efluente resultó en 80.84 % operando a 25°C y de 83.79 % operando a 39°C observándose que tampoco se obtuvo reducción en este parámetro. La concentración promedio de SF del afluente fue de 16.84 ± 7.90 % durante toda la operación del reactor, mientras que la del efluente resultó en 19.15 % operando a 25°C y de 16.21 % operando a 39°C. La concentración promedio de AT del afluente fue de 2,431.61 ± 539.36 mg de CaCO₃ L⁻¹ de residuo durante toda la operación del reactor, mientras que la del Efluente resultó en 2,626.68 mg de CaCO₃ L⁻¹ operando a 25°C y de 2,578.51 mg de CaCO₃ L⁻¹ operando a 39°C. El valor promedio de pH del afluente fue de 6.38 ± 0.44 durante toda la operación del

reactor, mientras que la del efluente resulto en promedio fue de 5.87 operando a 25°C y de 6.30 operando a 39°C. La producción de biogás fue en promedio de 0.19 ± 0.13 L por día a 25°C y 1.81 ± 1.38 L por día a 39°C.

En el periodo de operación a 39°C se ve un incremento considerable en la generación de biogás (63 ± 3.9 % de CH₄ y de 37 ± 3.9 % de CO₂) en comparación al periodo a la temperatura de 25°C (53 ± 1.8 % de CH₄ y de 47 ± 1.6 % para el CO₂). El incremento de la temperatura tuvo un efecto significativo en el aumento de contenido de CH₄ en el biogás, incrementando en 10 % la concentración del mismo. En la Figura 2 se muestra el

comportamiento de la composición del biogás producido en el prototipo de reactor operándolo 32 días con cada temperatura probada 25 y 39 °C.

Figura 2. Composición del biogás generado a las dos diferentes temperaturas probadas, 25 y 39°C.



Se obtuvo una eficiencia de 6 y 60 L de biogás / kg de SV agregado operando a 25 y 39°C respectivamente. Dichas cantidades son bajas si se comparan con los resultados de otro estudio que reporta 233 L biogás / kg de SV agregado, con una carga orgánica de 2.16 kg SV/m³/día en un reactor de mezcla completa con

estiércol de vaca. (Ghaly y Echiegu, 1992).

La eficiencia de producción de metano por kg de SV agregado, para cada experimento a 25 y 39°C fue de 3 y 38 Litros respectivamente. Dichos valores obtenidos son bajos si se compara con la producción de 200L obtenida en un reactor UASB a a 55°C (Borja, *et al.*,

1996). Lo que indica que aumentando la temperatura o el TRH se puede obtener una mejor eficiencia del reactor.

La producción de metano por kg de SV removido operando a 25 y 39°C respectivamente fue de 42 y 542 Litros. Dichos valores son comparables con los 530 L de metano / kg de SV removido, reportados por Khursheed *et al.*, (2005), para un reactor anaerobio sin mezcla con estiércol de vaca y a una carga orgánica menor de 3.24 kg SV/m³/día y 16.2 días de TRH.

Al considerar la recirculación del residuo, se obtuvo una reducción de 30.22 y 5.50 % en la DQO y SV respectivamente. Ello confirma que la recirculación del efluente durante la digestión Batch de estiércol sólido (ST = 16%) mejora el contacto entre la biomasa y el substrato y consecuentemente incrementa la eficiencia del sistema (El-Mashad *et al.*, 2006). Aun cuando se opero la mitad del tiempo (15 días) con respecto al primer experimento (32 días), se obtuvo una reducción significativa en los valores de DQO. Esto indica que la recirculación tuvo una influencia considerable en la degradación de la biomasa. Bajo estas condiciones también se obtuvo una reducción de 18.44 y 20.00 % en el pH y AT respectivamente. La producción total de biogás bajo estas condiciones disminuyo a 1.72 L con una producción diaria promedio de 0.123 ± 0.102 L, con una composición de 40.38 % de CH₄ y 58.07 % de CO₂, ello se atribuye a que el tiempo de operación fue solo de 15 días con respecto a la primera fase del estudio.

Conclusiones

El estiércol de ganado vacuno estabulado del municipio de Chihuahua presenta alto potencial de aprovechamiento para la

generación de biogás, considerando los resultados de la caracterización:

- La carga orgánica del estiércol de los ejidos muestreados es elevada.
- La relación promedio de C/N y C/P están dentro de los rangos aceptables para su tratamiento y degradación anaerobia. Los metales encontrados (Cu, Fe y Al) en el estiércol que pueden causar problemas de inhibición del proceso anaerobio si no son controlados.

Por otra parte, se concluye que el tratamiento del estiércol de ganado vacuno en un reactor UASB es una opción recomendable para la generación de Biogás, considerando los siguientes aspectos:

- Las eficiencias obtenidas de producción de biogás por m³ de reactor y de metano por kg de SV removido son satisfactorias.
- El aumento de temperatura en la operación del reactor incrementó considerable en la generación de biogás y la composición de metano.
- La recirculación del residuo en el reactor tuvo un efecto positivo en la remoción de la DQO y SV.

Agradecimientos

A la fundación PRODUCE, CIMAV y CONACYT, instituciones que brindaron los recursos para realizar este trabajo de tesis de maestría. A la Facultad de Zootecnia por el apoyo brindado.

Bibliografía

- Borja R., Sanchez E., Weiland P., 1996. Influence of Ammonia Concentration on thermophilic anaerobic digestion of cattle manure in Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors. Elsevier. España.
- Campos E., Bonmatí A, Teira M.R., Flotats X., 2001. Aprovechamiento energético de lodos residuales y purines. Producción de Biogás [en línea]. Journals Técnicos sobre energía. Barcelona.
- CEPIS. 2001. Memorias. Digestión anaerobia para el tratamiento de Residuos orgánicos-El caso Perú
- Clesceri, L.S., 1998. Standard Methods for the examination of water and wastewater. Total, fixed and volatile solids in solid and semisolid samples. 20va E. USA. p. 2.59 – 2.60.
- Dabrio, M. V., 1971. Cromatografía de gases. Ed. Alhambra, 1971. pag. 79 y 80
- El-Mashad H. M., Van Ionn W. K., Zeeman G., Bot G. P., Lettinga P.G., 2006. Effect of inoculum Addition modes and leachate recirculation on anaerobic digestion of solid cattle manure in an accumulation system. Elsevier. Egipto.
- Esquivel R. R., Mendez M. D., Preston T. R. y Pedraza O. G., 2000. Aspectos importantes al introducir biodigestores en explotaciones lecheras a pequeña escala. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.
- Flotats X., Campos E., Bonmatí A., 1997. Aprovechamiento energético de residuos ganaderos. Departamento de Medio ambiente y ciencias del suelo. Universidad de Lleida, España.
- García O. F., Santos V. E., Naval L., Guardiola E. y López B., 1999. Kinetic Model for anaerobic digestion of livestock manure [en línea]. Elsevier. Facultad de ciencias químicas, Universidad Complutense. Madrid España. <<http://www.sciencedirect.com>> [Consulta: 5 Ago 2005].
- Ghaly A.E y Echiegu E. A., 1992. Performance evaluation of an intermittent flow continuous mix anaerobic reactor operating on dairy manure. Canadá. Biomass and Bioenergy V 4. p. 185 – 197.
- HACH Company, 1992. HACH Water Análisis Hand Book. Colorimetric determination 0 to 1,500 and 0 to 15,000 mg/L COD y Total Phosphorus. 2da Ed. USA. p. 498-499 y 544-545.
- Khursheed K., Hoffmann R., Klasson T. y Al-Dahhan M. H., 2005. Anaerobic digestion of animal waste: Waste strength versus impact of mixing [en línea]. Bioresource Technology. [Consulta: 19 Jun 2005].
- Kurt R., 2003. “A comparison of dairy cattle manure management with and without anaerobic digestion and biogas utilization”. AgSTAR program, EPA. Estados Unidos, Washington D.C. Pag. 7.
- LEAD y FAO. 2006. La caja de herramientas sobre ganadería y medio ambiente. [En línea], <<http://lead-es.virtualcentre.org>> [Consulta: 28 Nov 2006].
- NMX-AA-036-SCFI-2001. Análisis de Agua, determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales,

- residuales y residuales tratadas –
Método de Prueba. 2001.
- SAGARPA. 2003. Situación actual y
perspectiva de la producción de carne
de bovino en México. Coordinación
general de ganadería. [en línea].
<http://www.sagarpa.gob.mx>
[Consulta: 14 Dic 2006].
- Speece R. 1987. Nutrients requeriments.
Anaerobic digestion of biomass,
ed. Chynoweth y Isaacson.
Elsevier applied science.