

DISEÑO Y OPERACION DE DIGESTORES ANAEROBICOS AGITADOS POR RECIRCULACION DE BIOGAS

Lucas Seghezze *

Gloria del C. Plaza †

Carlos M. Cuevas ‡

INENCO
(Instituto de Investigaciones
en Energía No Convencional)
Buenos Aires 177 - 4400 SALTA
ARGENTINA

RESUMEN

Se estudió el funcionamiento de un digestor anaeróbico de 6 litros agitado mediante recirculación del biogás para el procesamiento de desechos animales y vegetales en régimen discontinuo. La temperatura de trabajo se mantuvo en $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ mediante un controlador automático on-off. Se utilizaron como materiales de carga estiércol vacuno y tomate. La producción de biogás obtenida a partir de estiércol está dentro de los rangos informados por diversos autores. Cuando se empleó una mezcla de tomate y estiércol vacuno se observaron fenómenos de inhibición del proceso de digestión y acumulación de ácidos grasos volátiles. El sistema de recirculación de biogás aparece como una buena manera de homogeneizar la mezcla en digestión, pero se requiere atención especial en el tratamiento de materiales como el tomate, con tendencia a la inestabilización.

1 INTRODUCCION:

La agitación del medio interno en un digestor anaeróbico es de gran importancia para optimizar la eficiencia del proceso de producción de biogás y la consiguiente reducción de la carga contaminante de los desechos orgánicos. La utilización de digestores anaeróbicos en los que la agitación es realizada mediante la recirculación del biogás producido o reactores anaeróbicos tipo gas-lift (AGLR) ha sido introducida y estudiada por sus ventajas sobre los sistemas basados en la agitación mecánica. La agitación por gas produce un buen mezclado del material en digestión con un considerable ahorro de potencia, y sin generar las fuerzas de roce que se observan con los agitadores mecánicos [2]. El funcionamiento de un digestor de este tipo se basa en la inyección desde la base de un flujo continuo o intermitente de gas, que es forzado a pasar a través de un tubo concéntrico de menor tamaño ubicado en el interior del reactor. Se produce de esta manera una circulación de material que es ascendente por dentro del tubo interior y descendente entre el tubo y la pared del reactor.

*Becario CONICET

†INENCO. UNSa-CONICET

‡INIQUI (Instituto de Investigaciones para la Industria Química). UNSa - CONICET

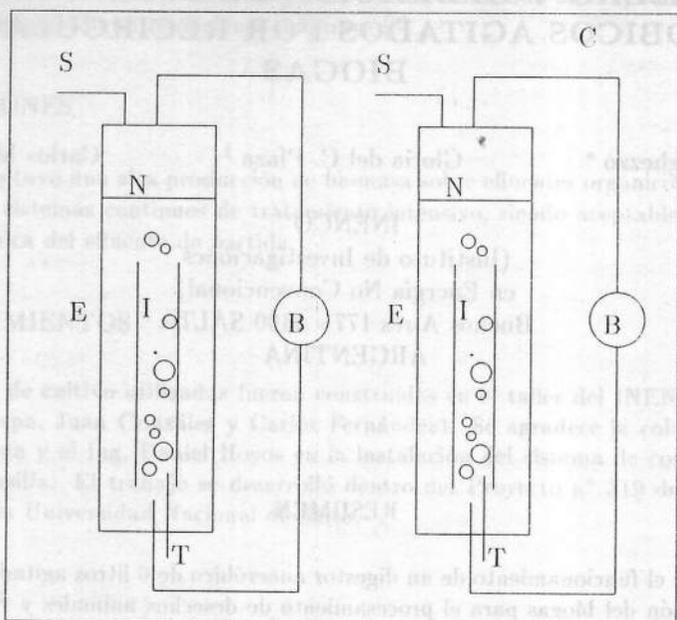


Figura 1: **Esquema de la experiencia.** Pueden verse los reactores utilizados y el sistema de recirculación de biogás. Ambos digestores están instalados en una cámara termostalizada de poliestireno expandido (telgopor). B: bomba de recirculación; T: toma de muestras para análisis; S: salida del biogás; N: nivel de la digestión; E: tubo externo del reactor; I: tubo interno. C: cámara de telgopor

Como parte de un estudio más general, se presentan resultados referidos a primeras experiencias de biodigestión en reactores agitados por recirculación de biogás, utilizando diferentes materiales como sustrato.

2 MATERIALES Y METODOS

El diseño básico utilizado es el reactor tipo air-lift de forma cilíndrica, con un diámetro interno de 11 cm y un volumen de trabajo de 6 litros (8 litros de volumen total). En su interior posee un tubo cilíndrico de 7 cm de diámetro interno, apoyado sobre tres soportes en el fondo del reactor. Tanto el fondo como la parte superior del reactor son de goma de alta densidad en la que se practicaron los orificios necesarios para la instalación de los dispositivos de entrada y salida de muestras y de biogás hacia la acumulación o hacia la recirculación. Se construyeron dos reactores idénticos de este tipo.

El sistema de recirculación de biogás fue construido a partir de compresores de heladera de 1/5 HP. Los digestores se ubicaron en una cámara termostalizada de poliestireno expandido (telgopor) a 35°C ($\pm 0.2^{\circ}\text{C}$), lograda mediante un controlador on-off de fabricación propia. Un esquema del sistema puede verse en la Figura 1.

El volumen diario de gas se midió por desplazamiento de agua acidificada desde

Tabla 1: Análisis realizados en el material de carga y durante el desarrollo de la experiencia. DQO: Demanda Química de Oxígeno; TS: Total de Sólidos; TSV: Total de Sólidos Volátiles; VFA: Acidos Grasos Volátiles. Según APHA (1985).

RUTINA DE ANALISIS Y SEGUIMIENTO DEL DIGESTOR		
Variable	Frecuencia de muestreo	Réplicas
Físico-químico completo	Una vez al inicio y una vez al final	Simple
Temperatura de trabajo	Control continuo	
pH	Cada dos días	Simple
Volumen de gas	diaria	Simple
Composición de gas	diaria	Simple
Alcalinidad	semanal	Simple
VFA	semanal	Simple
TSV solubles	semanal	Duplicado
TS solubles	semanal	Duplicado
TS	semanal	Duplicado
TSV	semanal	Duplicado
DQO soluble	semanal	Triplicado

una botella de vidrio de 5 litros hacia una probeta graduada de 1000 ml [8]. La composición del biogas fue determinada en un equipo ORSAT, donde el CO₂ reacciona con KOH concentrado formando carbonatos, y permitiendo la medición del CH₄ restante en un tubo de vidrio graduado. Se desprecian las cantidades de otros gases que puedan estar presentes en la muestra. La rutina de análisis físico-químicos realizados se muestra en la Tabla 1 [1] [9] [7]. La alcalinidad se midió a pH 4.00 y 5.75. La determinación a pH 5.75 da un valor más cercano al real, evitándose la interferencia de ácidos grasos volátiles que se verifica en la determinación clásica a pH 4 [5].

La carga se inoculó con 300 ml de sobrenadante proveniente de un digestor en funcionamiento (5% del volumen final). La composición de un inóculo tipo puede verse en la Tabla 2.

Las muestras para los análisis se tomaron luego de la agitación, momento en el que el medio interno está homogeneizado y se aplicaron dos agitaciones diarias de 1 minuto.

3 RESULTADOS Y DISCUSION

Experiencia 1: Una primera experiencia se llevó a cabo utilizando un reactor cargado con estiércol vacuno diluido en agua (7.47% de TS). Se observó una producción de biogas equivalente a 240 l/kg TSV iniciales, con un volumen acumulado al cabo de 30 días de digestión de 74.56 l (73% de metano). La remoción de DQO de la fracción soluble a lo largo de la prueba fue de un 40%.

Experiencia 2: Se realizó una prueba comparativa simultánea en dos reactores

idénticos, uno de los cuales (reactor E) fue cargado con estiércol vacuno diluido (6.14% de TS), mientras que en el otro (reactor T) se introdujo una mezcla de tomate fresco tipo perita y estiércol vacuno (5.64% de TS, 80% de los cuales se deben al tomate). Esta experiencia arrojó los siguientes resultados: el reactor E produjo al cabo de 30 días 71.38 l de biogas con 69% de metano (279 l de biogas/kg TSV iniciales), con una remoción de DQO total del 62.5%. El reactor T mostró problemas de estabilidad y acumulación de ácidos grasos volátiles, lo que llevó a una disminución del pH y a una inhibición de la digestión al cabo de 10 días de iniciada la prueba.

Los resultados obtenidos de producción de biogas con estiércol vacuno son comparables a los obtenidos por diversos autores sobre sustratos animales y vegetales, en reactores continuos y discontinuos [11] [3], aunque se encuentran en la bibliografía rendimientos mayores [10] [6].

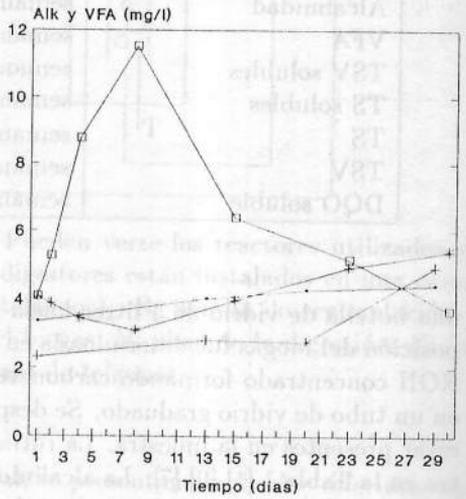
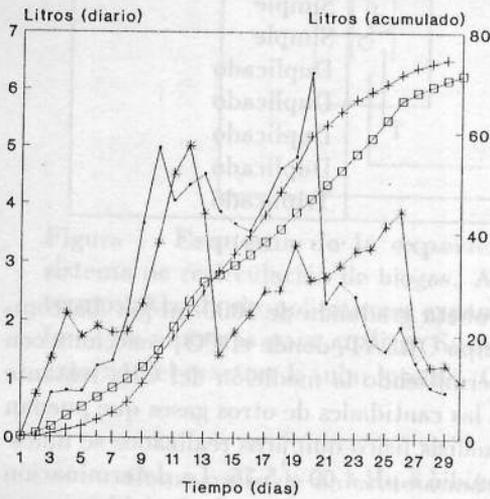


Figura 2: Producción diaria y acumulada de biogas durante las dos experiencias (estiércol vacuno). VD: Volumen Diario. VA: Volumen Acumulado.

Figura 3: Representación de la alcalinidad Alk (mg/l de CaCO_3 a pH 5.75) y los ácidos grasos volátiles VFA (mg/l) en función del tiempo.

La Figura 2 muestra la producción de biogas diaria y acumulada en función del tiempo. En la Exp.1 puede notarse que luego de iniciada la agitación de la mezcla mediante la recirculación de biogas (a partir del día 17) se produce un incremento en la producción diaria de biogas superior al 40%. Puede observarse que ésta ya se encontraba en fase de declinación. Luego de este aumento, que alcanza su pico el día 20, se produjo una brusca disminución en el volumen diario de biogas producido, notándose un aumento en la cantidad de ácidos grasos volátiles (VFA) en las muestras posteriores (Ver Figura 3). Esto induce a pensar en la posibilidad de una inhibición parcial de la actividad metanogénica durante la etapa final, ocasionada probablemente por ingreso de aire al reactor a través del circuito de recirculación de gas. La producción de biogas obtenida en la Exp.2 es similar, observándose algunos altibajos en la producción

Tabla 2: **Resultados obtenidos.** Alk: alcalinidad de la muestra (mg CaCO₃/l a pH 4.0); Alk_{5.75}: alcalinidad de la muestra a pH 5.75. DQO_s o _t: Demanda Química de Oxígeno de la fracción soluble (Exp.1) o total (Exp.2) (mg/l); VFA: Acidos Grasos Volátiles (mg/l); TS: Total de Sólidos (% p/p); TSV: Total de Sólidos Volátiles (% p/p); TS_s: Total de Sólidos de la fracción soluble (g/l) (Exp.1); TSV_s: Total de Sólidos Volátiles de la fracción soluble (g/l) (Exp.1). R%: remoción porcentual. Según APHA (1985).

Fecha	pH	Alk	Alk _{5.75}	VFA	DQO _s o _t	TS	TSV	TS _s	TSV _s	
Experiencia 1 (Estiércol vacuno)										
1	8.22	3356.5	2205.0	2322.0	4000.0	7.5	5.2	-	-	
13	7.59	4018.0	2229.5	2808.0	3123.0	6.5	4.2	0.59	0.59	
20	7.18	4263.0	3111.5	2754.0	2342.4	6.7	3.9	0.62	0.39	
27	7.28	-	-	-	2267.0	-	-	-	-	
29	7.31	4410.0	3479.0	4934.2	2400.0	6.0	3.7	0.37	0.11	
R%					40.0	19.7	28.8	37.3	81.3	
Experiencia 2 (Estiércol vacuno)										
0	9.16	5243.0	4067.0	4063.5	25600	6.1	4.3	-	-	
1	8.04	5439.0	3871.0	5272.9	-	6.2	4.3	-	-	
3	7.86	6076.0	3454.0	8755.9	-	5.7	3.8	-	-	
7	7.02	6370.0	3087.0	11513.2	25600	5.5	3.7	-	-	
14	7.57	6002.5	3969.0	6385.5	16000	5.1	3.3	-	-	
22	8.37	6590.5	4949.0	5176.1	11200	4.8	3.0	-	-	
29	7.90	-	5414.5	3676.5	9600	5.1	3.1	-	-	
R%					62.5	16.5	27.3			
Experiencia 2 (Tomate)										
0	7.96	3675.0	1862.0	6796.7	35200	5.6	4.3	-	-	
1	5.34	1298.5	-	7498.1	-	5.1	3.8	-	-	
1	5.17	3234.0	-	14367.4	-	-	3.7	-	-	
3	8.25	6860.0	3185.0	12093.7	-	5.5	3.3	-	-	
7	6.49	7546.0	2315.2	16907.1	16000	5.3	3.0	-	-	
14	6.03	7056.0	1200.5	18576.0	4800	3.3	3.1	-	-	
22	6.12	7325.5	-	19495.1	12800	3.9	3.1	-	-	
R%					63.6	31.2	38.7			
Inóculo (Experiencia 2)										
	7.95	-	4263.0	8320.5	24000	6.1	4.0	-	-	

diaria, también atribuibles a defectos en el sistema de recirculación. A pesar de esto, la producción total de biogas es alta en ambas experiencias, lo que indica que se alcanzaron buenas condiciones para el desarrollo de las poblaciones de bacterias metanogénicas.

La remoción de DQO soluble a lo largo de la Exp.1 fue de un 40%. En la Exp.2 aumentó la remoción hasta un 62.5%, habiéndose analizado la DQO total, sin filtrado de la muestra. En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos a lo largo del trabajo.

Los resultados obtenidos se están analizando mediante la utilización de modelos discontinuos de sistemas anaeróbicos citados en la literatura [4]. En los estudios preliminares realizados se observó un muy buen ajuste de los resultados a los valores predichos por el modelo, lo que será confirmado y profundizado en estudios posteriores, y con mayor cantidad de datos experimentales.

4 CONCLUSIONES

La utilización de biodigestores agitados mediante recirculación del biogas producido aparece como un método que merece ser estudiado en profundidad, dadas las ventajas que ofrece frente a los métodos convencionales de agitación mecánica. Se logró un adecuado funcionamiento de los reactores bajo las condiciones impuestas, trabajando con estiércol vacuno. Se considera que la remoción de DQO y TSV no es suficiente, por lo que el sistema se seguirá estudiando en el futuro bajo condiciones de régimen discontinuo o continuo. Los problemas originados en la biodigestión de desechos de tomate (excesiva generación de ácidos grasos volátiles, disminución del pH e inhibición de la metanogénesis) se discuten en otro trabajo.

5 AGRADECIMIENTOS

Los equipos utilizados fueron construidos en el taller del INENCO (Ricardo Caso, Juan González, Alfredo Zerpa y Carlos Fernández). Se agradece la colaboración del Ing. Daniel Hoyos en el diseño y construcción del sistema de control de temperatura de los reactores. Los análisis físico-químicos del material de carga y de los efluentes han sido realizados por el Ing. Eduardo Corvalán, en el Laboratorio de Suelos del INTA Cerrillos (Salta). El trabajo se desarrolló dentro de los Proyectos n° 299 y 319 del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta.

REFERENCIAS

1. American Public Health Association (APHA). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 1981.
2. H.H. Beeftink y J.C. van den Heuvel. Novel anaerobic gas-lift reactor (AGLR) with retention of biomass: start-up routine and establishment of hold up. *Biotechnology and Bioengineering*, 30:233-238, 1987.
3. H.N. Chanakya, Sushama Borgaonkar, M.G.C. Rajan, y M. Wahi. Two-phase anaerobic digestion of water hyacinth or urban garbage. *Bioresource Technology*, 42:123-131, 1992.

4. R.B.S. Chowdhury y D.J. Fulford. Batch and semicontinuous anaerobic digestion systems. *Renewable Energy*, 2(4-5):391-400, 1992.
5. S.A. Cobb y D.T. Hill. Volatile fatty acid interference with alkalinity measurements in anaerobic fermenters. En *International Summer Meeting sponsored by the ASAE*, 1990.
6. Joan Mata-Alvarez, Franco Cecchi, y Paolo Pavan. Anaerobic digestion of the Barcelona Central Food Market organic wastes. Plant design and feasibility study. *Bioresource Technology*, 42:33-42, 1992.
7. S. Mathiot, Y. Escoffier, F. Ehlinger, J.P. Couderc, J.P. Leyris, y R. Moletta. Control parameter variations in an anaerobic fluidised bed reactor subjected to organic shockloads. *Wat.Sci.Tech.*, 25(7):93-101, 1992.
8. Alfred S. Traoré. Biogas production from *Calotropis procera*: a latex plant found in West Africa. *Bioresource Technology*, 41:105-109, 1992.
9. M.T. Vicent, Lema J.M., y J.M. Paris. Depuración de aguas residuales industriales por digestión anaerobia. *Ingeniería Química*, 1987.
10. Prema Viswanath, S. Sumithra Devi, y Krishna Nand. Anaerobic digestion of fruit and vegetable processing wastes for biogas production. *Bioresource Technology*, 40:43-48, 1992.
11. A. Wellinger, U. Baserga, y K. Egger. New systems for the digestion of solid wastes. *Wat.Sci.Tech.*, 25(7):319-326, 1992.

Por los muy buenos resultados obtenidos y la experiencia adquirida por el Sr. Director de la Escuela No. 6367 "2 de abril" de Los Corrales, Provincia de Santa Fe, se efectuaron los estudios necesarios para dotar a dicha escuela de una Planta Piloto que sería alimentada con los desperdicios orgánicos de la cocina, donde se elaboran diariamente los alimentos para 15 alumnos y que solucionarían el problema del destino de la basura orgánica; sus malos olores, se eliminaría el alimento de los roedores y por ende se preservaría la salud de los educandos, significando a la vez un ahorro en el consumo de gas envasado.

Con la colaboración económica del Rotary Club "Los Constituyentes" de la ciudad de Santa Fe, que apadrina dicho Instituto, se logró construir bajo nuestra dirección la Planta Piloto, la que produce biogas en un volumen interesante, como para llegar al autoabastecimiento.

Por otra parte se produce también abono, a utilizar en la huerta orgánica.

Como se observa tiene perfectamente el sistema, dando solución al problema de la basura, lográndose a su vez la obtención de biogas y de abono, lo que hace que resulte una inversión interesante.