

G CHACON*
J. L. FERNANDEZ*

Summary

Degradability of coffee pulp was measured using methanogenic anaerobic fermentation on a laboratory scale of 250 cm³, batch process, and 2.5 cm³, 20 cm³ and 200 cm³ scales in the semi-continuous process.

Yields of biogas/kg ST were 0.15 cm³ under real conditions and 0.20 m³ under ideal conditions. If coffee pulp is left to oxidize for 72 hours or more, no problems are experienced in processing.

Introducción

El propósito de este trabajo es el de estudiar el tratamiento de la pulpa de café, considerada como desecho en Costa Rica (7) y otros países de Centroamérica y Sudamérica, mediante la fermentación anaeróbica metanogénica (9, 10, 13, 14, 15, 18), como una alternativa para solucionar el problema de disposición y aprovechamiento de este subproducto agrícola. Aprovechando las experiencias de los investigadores en la aplicación de la tecnología del biogás a la pulpa de café (3, 6, 11, 17) y con el deseo de aportar la información necesaria para: definir los parámetros de diseño, realizar estudios de factibilidad económica y de planta-piloto, se procedió a realizar esta investigación.

Materiales y métodos

Primer experimento:

En una primera etapa se determinó la capacidad de la pulpa de café, *Coffea arabica* L. de la variedad "Caturra", con 72 horas de oxidación natural después

de cosechado, mediante el procedimiento establecido por Owen *et al.* (12) en digestores discontinuos de 250 cm³ (Figura 1a)

El inóculo empleado fue el efluente de un digestor iniciado con estiércol de vaca y que trabajó seis meses con pulpa de café y se dejó inactivo por doce meses.

Se realizaron veinte pruebas usando como variables: la temperatura entre 20 y 35°C, la concentración inicial de sólidos totales (ST) entre 0.1 y 0.4% ST, la concentración de nutrimento entre 0.08 y 0.16 kg de fosfato de amonio/m³ y la concentración de inóculo de 5 a 20 % en volumen.

Segundo experimento:

Como segunda etapa se realizaron 16 ensayos en los digestores discontinuos de 250 cm³ (Figura 1a) pero sin seguir el procedimiento de Owen *et al.* (12)

Se estudió el efecto de la temperatura, la concentración de nutrimentos y de inóculo en los mismos ámbitos del primer experimento. La concentración de sólidos totales (ST) se varió entre 0.1 y 0.4%. Se realizaron cuatro pruebas sin el pretratamiento de 72 horas de oxidación

Tercer experimento:

Siguiendo el procedimiento usado por Morales y Chacón (10) y un fermentador de 2.5 dm³ (Figura 1b), se efectuó un experimento durante dos meses y

¹ Recibido para publicación el 20 de abril de 1983.

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica por la financiación de este proyecto. Se contó con la colaboración de la Ing. Juana Ma. Coto de la Universidad Nacional en el primer experimento y con la Dra. Ana I. Morales de la Oficina del Café en el tercer experimento.

* Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica.

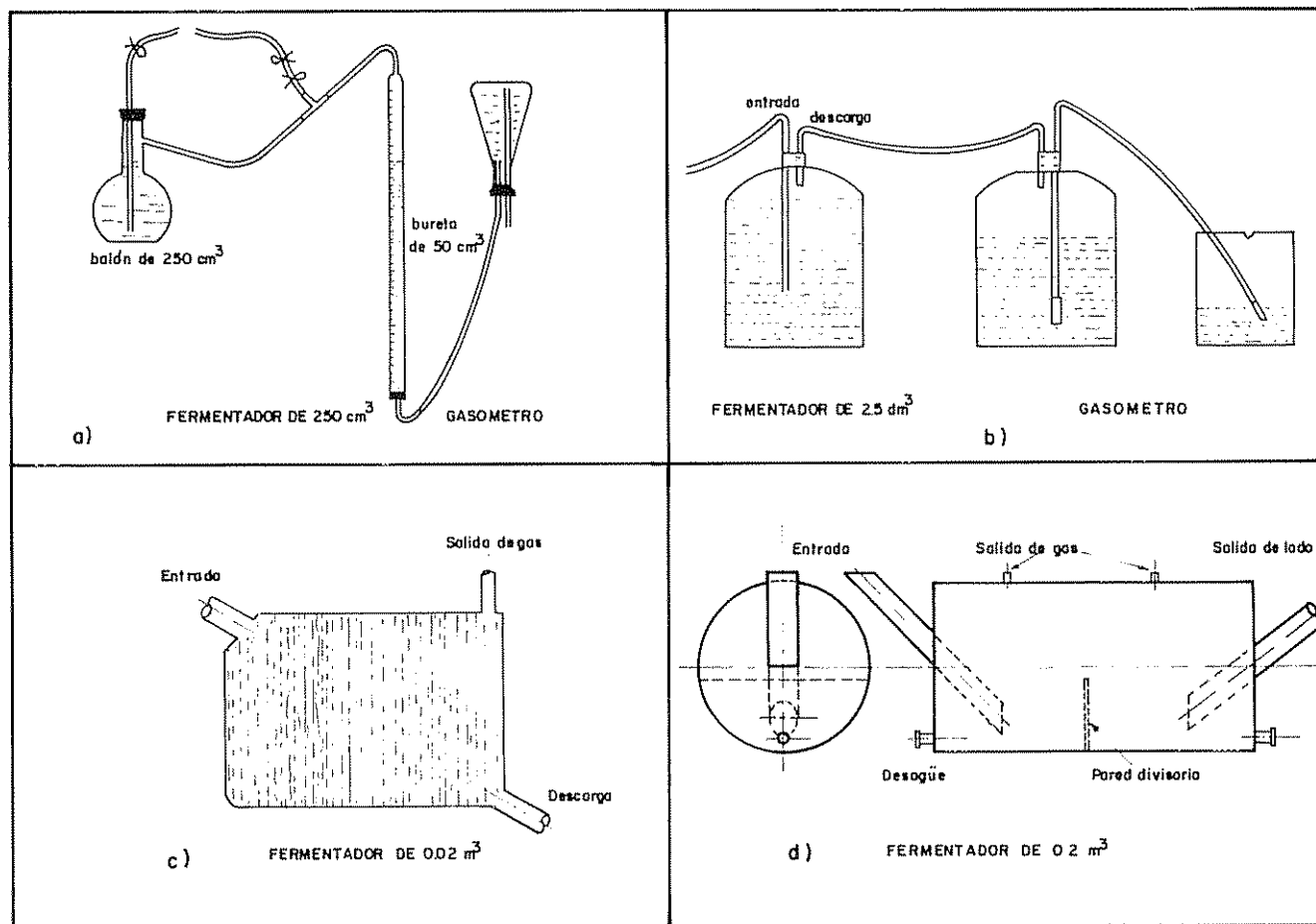


Fig. 1 Equipos usados en la investigación sobre la capacidad de la pulpa de café en la producción de biogás. (No están a escala)

medio, usando una carga de 167 g de pulpa por día con el agua necesaria para tener 10% de sólidos totales, lo que establece un "tiempo de retención hidráulico" de 30 días. La pulpa usada recibió el pretratamiento mencionado empleando el mismo. Se llevó a cabo al mismo tiempo que los otros dos experimentos. La temperatura durante la corrida fue de $23 \pm 3^\circ\text{C}$. El inóculo se formó con 1/3 del inóculo original (tres meses después) y 2/3 de agua dando una concentración de 1.5% ST.

Cuarto experimento:

Se realizó una corrida de tres meses en un digestor semicontinuo de 20 dm³ (Figura 1c), con pulpa cuyo fruto había sido cosechado una semana o más, antes. El inóculo fue el mismo. La temperatura de la corrida se mantuvo entre $22 \pm 3^\circ\text{C}$.

Quinto experimento:

Como paso previo al estudio en planta-piloto se realizó un experimento en un digestor de 0.2 m³ (Figura 1a).

La pulpa usada se extendió en una superficie de concreto y se dejó al ambiente durante 72 horas, antes de introducirla al fermentador.

El inóculo se formó con mezclas de estiércol de vaca, una parte de estiércol y una de agua, dando una concentración de 8.5% de sólidos totales. Al cabo de dos meses de funcionar se comenzó a agregar la cantidad de pulpa necesaria para obtener el "tiempo de retención deseado". Después de otro mes, se inició la toma de datos los cuales demostraron estabilidad a partir del tercer mes.

En los experimentos cuarto y quinto se midió la producción de gas en un aparato tipo "West test meter" de la casa G C A /Presition Scientific, con una capacidad de 3 m³ de gas

Los sólidos totales (ST) se midieron mediante los procedimientos de la APHA y la AWNA (1, 2)

La composición del gas se midió en un equipo de análisis de gas tipo Orsat, de la casa Fisher, modelo 10-616. Se determinó CO₂, la posible contaminación con O₂ y se comprobó la presencia de CH₄ con un error del 20%.

Resultados

En el Cuadro 1 se resumen los resultados obtenidos en la investigación, así como otros datos de operación.

En el primer experimento se obtuvo un rendimiento de 0.196 ± 0.018 m³ de biogás/kg ST. Los cambios en temperatura, en concentración de la masa reactiva, de nutrimentos, y de inóculo, no presentaron efectos significativos en el valor del rendimiento.

La variación de la producción de biogás con el tiempo a partir de pulpa de café, se puede reproducir mediante la relación:

$$V = M \cdot [1 - \exp -K \cdot t \cdot (t - r)] \quad (1)$$

Donde V es el volumen producido, M es el volumen total al final del proceso, t es el tiempo transcurrido, K es una constante denominada indicador de velocidad y r es otra constante denominada tiempo de retardo.

El indicador de velocidad varía con la temperatura así:

$$K = 0.002265 \cdot (T - 15.1) \quad (2)$$

La temperatura T en °C, varía en un ámbito entre 25 y 35 grados Celcius y K está dado en días⁻¹. El tiempo de retardo varía con la temperatura de la siguiente forma, aproximadamente.

$$r = 0.193 \cdot (T - 35.8) \quad (3)$$

en donde: T en °C y r en días

En el segundo experimento, de los cuatro ensayos se realizaron sin pretratamiento, tres no produjeron gas. Solamente produjo gas el que tenía más inóculo, 20% en volumen y mayor temperatura, 35°C. Los demás produjeron 0.165 ± 0.082 m³ de biogás/kg ST.

De los datos obtenidos se puede estimar que el tiempo de proceso cuando se alcanza el 99% de su máxima producción, es de 32 días a 20°C, de 25 a 25°C, de 20 a 30°C y de 15 a 35°C.

Los otros tres experimentos mostraron estabilidad en los valores presentados en el Cuadro 1.

Discusión

La pulpa de café es capaz de descomponerse mediante la fermentación anaeróbica metanogénica, como lo hacen la mayoría de los sustratos que han sido utilizados para este propósito si se deja oxidar durante 72 horas como pretratamiento. Al igual que otros materiales, la variación en la concentración de sólidos totales y de inóculo no influyen en el comportamiento de la producción de biogás. La pulpa de café no carece de nitrógeno para la fermentación, pues no es afectada por los cambios de concentración en este nutrimento. Los cambios de temperatura producen una variación proporcional en la velocidad de la producción del gas, pero no producen variación significativa en el rendimiento.

El rendimiento de biogás representa un 60% del valor que tradicionalmente se toma como referencia.

Cuadro 1. Capacidad de la pulpa de café para la producción de biogás.

Experimento No.	Tipo de proceso	Volumen del fermentador dm ³	Rendimiento de biogás m ³ gas/kg ST	Sólidos totales carga %	Flujo de masa kg/día	Sólidos totales salida %	CH ₄ (**)%	Tiempo de retención días	Duración del experimento meses
1	"batch"	0.250	0.196 ± 0.018	0.1 a 0.4	-	-	70	-	-
2	"batch"	0.250	0.165 ± 0.082	0.1 a 0.4	-	-	70	-	-
3	continuo	2.5	0.150 ± 0.045	9.4 ± 0.9	0.08	2.2 ± 0.4	70	30	2.5
4	continuo	20	0.178 ± 0.088	2.6 ± 0.9	0.57	0.69 ± 0.36	68	35	3.0
5	continuo	200	0.163 ± 0.099	6.3 ± 1.0	6.67	1.9 ± 0.7	66	30	5.0

NOTA: (**) Composición estimada

que es de 0.3 m³ de biogás/kg ST (9, 11, 13-15). Esta diferencia se explica por el alto contenido de lignina, 27.3% en base seca y de proteína lignificada, 4.7% (4) que son inertes a la acción microbiana. El rendimiento es relativamente bajo si se compara con el de otros materiales, lo que indica que se debe realizar un estudio de factibilidad económica previo a recomendar el uso del proceso de fermentación anaeróbica en el tratamiento de la pulpa de café. Según los datos de Matamoros (8) y el rendimiento obtenido en esta investigación, un beneficio de café satisfaría un 60% de su demanda energética, si se utiliza toda la pulpa producida en la producción de biogás.

El modelo que representa la velocidad de producción volumétrica de biogás, inferido en este trabajo y descrito por la ecuación [1] expresa adecuadamente el comportamiento del proceso, aunque se debe comprobar para otros materiales complejos antes de generalizarlo.

El tiempo de retardo (r) manifestado en la misma ecuación [1], no mencionados por ningún autor, probablemente se deba a que se usó un inóculo suficientemente inactivo; se debe observar, que este valor tiende a desaparecer cuando aumenta la temperatura.

Resumen

Se investigó la degradabilidad de la pulpa de café mediante la fermentación anaeróbica metanogénica a escala de laboratorio de 250 cm³ en proceso discontinuo ("batch") y a escalas de 2.5, 20 y 200 dm³ en proceso semicontinuo. Se obtuvo rendimientos desde 0.15 a 0.20 m³ de biogás/kg de sólidos totales, en condiciones reales e ideales respectivamente. Si la pulpa de café se deja oxidar durante 72 horas o más, no presenta problemas durante el proceso.

Literatura citada

1. A.P.H.A. Standards Methods for examination of water and waste matter. American Public Health Association, 14a ed., Washington, 1975.
2. A.W.W.A. Control de calidad y tratamiento de aguas. American Water Works Association. Instituto de Estudios de Administración local, Madrid, 1975.
3. BERN, S. Utilización de la pulpa de café en la producción de gas combustible, biogás. Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (I.R.H.E.), Panamá, 1980.
4. BRAHAM, J. E. y BRESSANI, R. Pulpa de café: composición, tecnología y utilización. C.I.I.D., Bogotá, 1972.
5. CALLE, A. Subproductos del café. Boletín técnico No. 6. CENICAFE, Bogotá, 1977.
6. CALZADA, J. F. *et al.* Biogas from coffee pulp. *Biotech Letters* 3(12):713-716, 1981.
7. JIMENEZ, A. Leyes y reglamentos usuales sobre el café. Trejos Hnos. Sucrs. S.A., San José, 1978.
8. MATAMOROS, M. A. Factibilidad para la producción de biogás. Proyecto de Graduación, Escuela de Ingeniería Química, U.C.R., 1981.
9. McCARTY, P. L. Anaerobic waste treatment fundamentals. *Public Works*: Sep., 1964; pp. 107-112. Oct., 1964; pp. 123-126. Nov., 1964; pp. 91-93. Dec., 1964; pp. 95-99.
10. MORALES, A. I. y CHACON, G. Producción de biogás a partir de pulpa de café. OFICAFE, San José, 1981.
11. N.A.S. Methane generation from human, animal and agricultural wastes. National Academy of Sciences, Washington, 1977.
12. OWEN, W. F. *et al.* Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. *Water Research* 13:485-492, 1979.
13. PYLE, D. L. Technical options in anaerobic digestion. Department of Chemical Engineering and Chemical Technology, Imperial College, Londres, 1976.
14. STADMAN, T. C. Methane fermentation. *Annual Review of Microbiology* 21: 1967.
15. STAFFORD, S. A., HAWKES, D. L. y HORTON, R. Methane production from waste organic matter. C.R.C. Press, Miami, 1978.
16. TRAVELYAN, W. E. The methane fermentation. *Tropical Science* 17(4):193-209, 1975.
17. YOUNG, M. A. Biometanización de la pulpa de café; alimentación alternada o mezclada con estiércol bovino. Simposio Internacional, Avances en fermentación Anaeróbica, UNAM México, 1982.
18. ZEIKUS, J. G. The biology of methanogenic bacteria. *Bacteriological Reviews* 41(2):514-541, 1977.