

GENERACION RAPIDA DE BIOGAS, COMO ALTERNATIVA ENERGETICA PROMISORIA

Guasumba José

Laboratorio de Energías Renovables, ESPE
Centro de Investigaciones Energéticas, Tecnológicas y
Ambientales, CITECNIA CORP.
celular: (00 593) 99 832 736
e-mail: jguasumba@punto.net.ec

RESUMEN

La presente investigación comprende el desarrollo de un procedimiento alternativo para reducir en forma considerable los tiempos de producción de metano (CH₄), mediante el uso de energía solar térmica, con captadores planos de 500W, para calentamiento del sustrato, por medio de un fluido que se desplaza por la carcasa anular del reactor, y que permite alcanzar una temperatura interna de 32 °C. En la pared exterior del recipiente de acero al carbono, la capa de aislamiento térmico, de 75 mm., reduce la pérdida de calor hacia el ambiente, con lo cual, se incrementa el crecimiento bacteriano. También, el rendimiento en la producción de biogás, se optimiza con la preparación, adecuada de la materia prima que tiene un mayor componente de biomasa en partículas de tamaño menor a 1mm., en el procedimiento se cuantifican las cargas añadiendo en menor proporción estiércol y urea para lograr una relación carbono, nitrógeno C/N, alrededor de 25/1, que es una condición aceptable para la biorreacción. El contenido de humedad del sustrato, es superior al 85%. Con los aspectos anteriormente indicados se logra reducir el tiempo de fermentación anaeróbica a 12 días, un mayor volumen de gas generado por Kg. de carga, y la obtención de una llama oxidante de color azul, que puede ser aplicada en procesos de combustión para uso industrial.

Palabras claves: biodegradación, sustrato, biorreactor, crecimiento bacteriano, poder calórico

INTRODUCCION

Existen varios métodos para la producción de metano, ya sea en forma natural o artificial, mediante el uso de digestores como los desarrollados en China y la India, los cuales, en su mayoría son de tipo artesanal, en su fabricación se utilizan paredes conformadas con

mampostería de ladrillo, cubiertas fijas o con campanas cilíndricas flotantes. Estas instalaciones son de bajo costo, fáciles de construir, pero de baja eficiencia de conversión bioquímica, por las dificultades relacionadas con el control parámetros de temperatura, PH, contenido de humedad. Para las mezclas, se utilizan como materia prima representativa, el estiércol de vacuno, equino, porcino, siempre y cuando los animales se encuentren estabulados o semiestabulados, para facilitar la recolección. En muchas regiones donde existe alta pluviosidad, resulta complejo recolectar el estiércol en el campo, y cargarlo en los Digestores. Además, por la variación del nivel freático, las aguas subterráneas, se filtran en las instalaciones, alterando el contenido de humedad del sustrato, con la consecuente eliminación o reducción de la actividad bacteriana. En el proceso de fermentación anaeróbica, se producen reacciones bioquímicas por la acción de microorganismos en ausencia de oxígeno, dando lugar al apareamiento de tres etapas debidamente diferenciadas: hidrolítica, acidogénesis y metanogénesis, en cada una de estas aparecen bacterias y sustancias encargadas de la descomposición del sustrato. Los productos obtenidos como resultado de este proceso, es el BIOL que sirve para mejorar los cultivos, y el biogás necesario para aplicaciones energéticas en la industria o la comunidad.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En los métodos tradicionales de obtención de CH₄, se requieren de tiempos de retención hidráulico superiores a los 70 días para la fermentación de determinados materiales orgánicos, las mezclas se realizan con una mayor proporción de estiércol, que en la mayoría de casos, es de difícil recolección. La producción de biogás, dependiendo del tipo de mezclas, es inferior al 22 %, cuando se realiza la combustión del gas, se obtiene una llama amarillenta de baja entalpía. Además, por el cambio de temperatura y las heladas, se afecta el crecimiento bacteriano. Por lo que en esta investigación, se pretende obtener un nuevo procedimiento para optimizar la generación artificial de biogás, a través del suministro de calor al biorreactor utilizando la radiación solar térmica de baja temperatura, cargas

debidamente estratificadas, que tienen un mayor componente de residuo vegetal en las mezclas, para aprovechar de manera eficiente este recurso que ofrece la biomasa, producida en las cosechas.

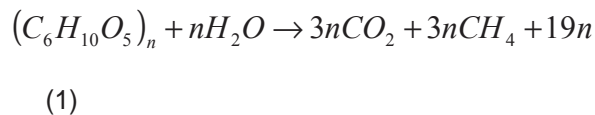
OBJETIVO

Mejorar el proceso de generación de metano (CH₄), y abono orgánico líquido, mediante el uso de biomasa residual triturada, cargas combinadas y calefacción solar para mantener y potencializar el crecimiento bacteriano.

FUNDAMENTOS TEORICOS

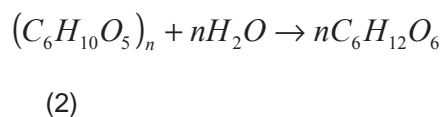
Fermentación anaeróbica:

Partiendo de la celulosa, como constituyente principal de la biomasa, el proceso de fermentación anaeróbica [1], puede definirse por la siguiente expresión:

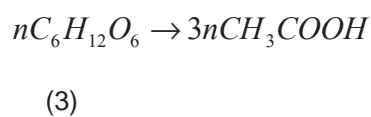


Las etapas tróficas de este proceso de generación de metano son la hidrólisis, acidogénesis, metalogénesis [2]

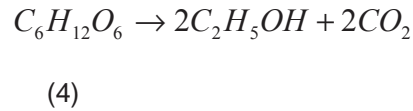
En la primera fase de la reacción intervienen las cepas bacterianas hidrolíticas, que degradan las macromoléculas orgánicas, ya sea en hidratos de carbono, lípidos, proteínas, a ácidos grasos, polisacáridos y otros productos neutros, de acuerdo con la siguiente reacción:



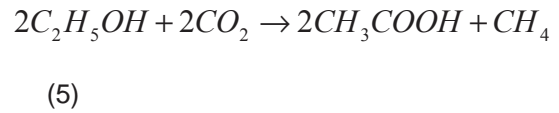
En la acidogénesis, se hacen presentes las bacterias cetogénicas y homoacetogénicas, produciendo ácido láctico, H₂, y CO₂, partiendo del sustrato hidrolizado. El resultado neto de la segunda fase de la reacción es:



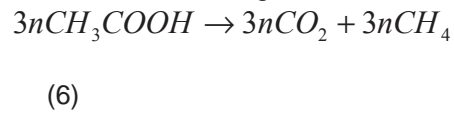
Con pasos intermedios tales como:



Continuando mediante rehidrogenación



En la tercera fase del proceso, el CO₂, H₂, y el ácido acético, son transformados en CH₄ por las bacterias metanogénicas



En el proceso de digestión anaeróbica, debe tomarse en cuenta algunas condiciones como la afectación de la acción bacteriana por la presencia de jabones, penicilina, azufre soluble, o amoníaco en bajas concentraciones, algo de nitrógeno es esencial para el crecimiento de los microorganismos.

Tamaño de las bacterias:

El tamaño de las bacterias fermentativas puede variar de 0.5 a 5 μm, y tienen una geometría compleja como la que se observa en la figura 1.

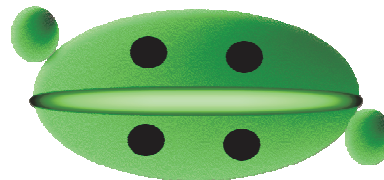


Figura 1 Bacteria Metanogénica

Crecimiento bacteriano:

El crecimiento bacteriano se desarrolla en diversas estructuras de la biomasa residual, si esta no ha sido debidamente preparada, las distancias entre cepas es extremadamente grande por lo que la actividad de degradación del sustrato se realiza en tiempos de retención hidráulicos que sobrepasan los 100 días, para un proceso tradicional el modelo de crecimiento bacteriano [3] es similar a lo que se observa en la figura 2

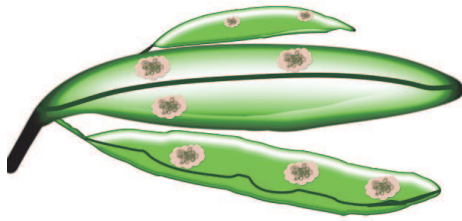


Figura 2 Crecimiento bacteriano en materia vegetal natural

Para reducir los tiempos de fermentación, de la biomasa residual, se realiza la preparación de mezclas, utilizando cargas vegetales con tamaños inferiores a 1mm, con lo que se logra un crecimiento bacteriano que tiene mayor concentración de cepas por unidad de área, esta nueva concepción, aplicada en la presente investigación [3], se muestra en la figura 3



Figura 3 Crecimiento bacteriano por aglomeración

Temperatura del sustrato:

Otra forma de mejorar la actividad de los microorganismos, en el interior de los biorreactores consiste en calentar el sustrato y mantenerlo a una temperatura promedio de 32°C, tomando en cuenta que la propia reacción bioquímica de la materia prima también produce calor adicional.

Contenido de humedad:

Si se parte de una materia prima seca, con un contenido de humedad del 12%, la expresión para calcular la cantidad de Agua de prehidratación del vegetal seco se define por:

$$\Delta W = S_d \left(\frac{X_i}{100 - X_i} - \frac{X_f}{100 - X_f} \right)$$

(7)

ΔW Cantidad de agua para prehidratar la mezcla orgánica; S_d biomasa seca, X_i Contenido de humedad de la biomasa antes del secado, X_f humedad final que puede ser del 12%.

Densidad aparente del sustrato

Existen desechos orgánicos que no tienen establecido sus valores de densidad, por lo que es necesario encontrar para el sustrato, la densidad aparente, que se calcula con la siguiente expresión:

$$\rho_a = \rho_v \frac{V_v}{V_t} + \rho_e \frac{V_e}{V_t} + \rho_a \frac{V_a}{V_t}$$

(8)

Donde:

ρ_a Densidad aparente del sustrato,
 ρ_v densidad de la materia vegetal, ρ_e densidad del estiércol, ρ_a densidad del agua, V_v volumen del sustrato, V_e volumen de estiércol, V_a volumen de agua, V_t volumen total de la mezcla.

Tiempos de fermentación:

En la tabla 1, se pueden observar los tiempos de fermentación de determinadas sustancias orgánicas, degradadas en procesos de digestión tradicionales, como el modelo chino e hindú.

Tabla 1 Tiempos de fermentación de residuos de granja [4]

Materia prima	Tiempo de fermentación (días)
Estiércol de vacuno	115
Estiércol de porcino	115
Paja 30 mm de longitud	120
Paja 2 mm de longitud	80
Mata de patata	50
Hojas de remolacha	14
Hierba	24

Balance energético del biorreactor:

El esquema del modelo termo físico correspondiente al reactor experimental, que se utiliza en esta investigación, se muestra en la figura 4, allí se puede observar la envolvente de agua para calefacción del sustrato, en el interior se encuentra la carga biológica, y en la parte superior los diferentes gases que se producen por la fermentación anaeróbica: CO₂, CH₄, H₂S, H₂, vapor de agua [5], [8]

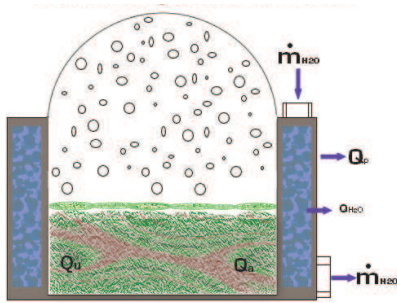


Figura 4 Balance energético del reactor

Aplicando el principio de conservación de la energía y considerando el calor producido por la degradación de las sustancias [3], al sistema anteriormente indicado se tiene:

$$mcp(T_2 - T_1) + 19n = Q_u + Q_p \quad (9)$$

m Masa de agua caliente, cp calor específico del fluido, T_2 y T_1 temperaturas de salida y entrada del agua en el reactor anaeróbico, n numero de moles de la mezcla, $19n$ cantidad de calor generado por las reacciones bioquímicas en J/mol, Q_u calor útil, Q_p calor perdido por las paredes del recipiente. Además, para completar el análisis del modelo en estudio, se debe realizar el balance energético en los colectores planos que funcionan con radiación directa, difusa y albedo.

Balance energético del campo de colectores:

Para determinar los flujos de energía en los colectores planos, se utiliza la figura 5 que se presenta a continuación.

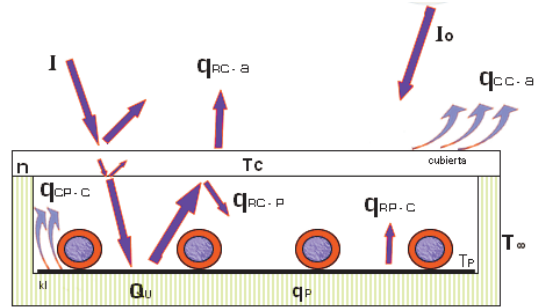


Figura 5 Balance energético del captador solar plano

Para el absorbente [6], el balance energético por unidad de área suponiendo que la cubierta es transparente para la mayor parte del espectro solar es:

$$\alpha_A (E + \varepsilon_G \sigma T_C^4) = \varepsilon_A \sigma T_A^4 + h(T_A - T_C) + Q_u \quad (10)$$

De allí que: α_A Absortancia del absorbedor, E irradiancia solar en W/m², ε_A emisividad del absorbedor, ε_G emisividad del vidrio, T_A temperatura del absorbedor, T_C temperatura de cubierta. El calor útil Q_u extraído del campo de colectores se puede calcular con la expresión de Hotel-Whillier-Bliss [6]

$$Q_u = F_R (E \tau \alpha_A k - U_L (T_1 - T_2)) \quad (11)$$

Donde:

F_R Factor de remoción de calor, τ transmitancia de la cubierta, U_L coeficiente global de transferencia, T_1 y T_2 temperaturas de ingreso y salida del fluido caloportador.

El circuito hidráulico entre el colector y reactor [7], se muestra en la figura 6:

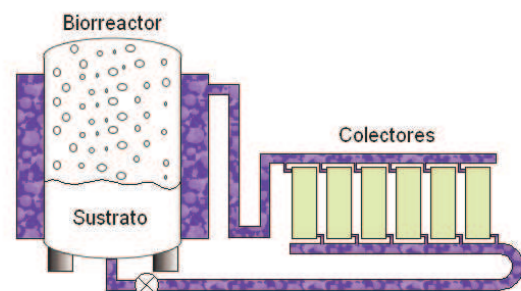


Figura 6 Líneas de conducción de agua caliente al biorreactor

PARTE EXPERIMENTAL

Equipo utilizado:

En las dos etapas de esta investigación se utilizaron: un reactor con capacidad de 0.5 m³, campo de colectores de 3000 W térmicos, 10 micro reactores aislados térmicamente, medidor de radiación solar de 0 a 1000 W/m², termómetro infrarrojo tipo laser de -20 a 1000 °C, indicadores de presión de 0 a 120 PSI. En la figura 7 se puede observar el sistema de conversión compuesto por reactor con calefacción externa, y el campo de colectores.



Figura 7 Reactores experimentales

Procedimiento:

Para la preparación de las cargas, se realiza el secado y trituración de la materia orgánica vegetal, se añade estiércol, urea y agua hasta lograr un sustrato que tenga un contenido de humedad superior al 85%, se carga en los reactores y se procede a la toma de datos durante los días de retención hidráulico.

Cargas:

Existen varias condiciones que se deben tomar en cuenta en la realización de las cargas combinadas: una de ellas tiene que ver con la determinación de la densidad aparente, la misma que se puede observar en la tabla 2

Tabla 2 Densidad aparente de los componentes orgánicos

Material	Volumen (ml)	Peso (g)	Densidad Aparente (Kg/m ³)
Hierba seca	615	110	178,9
Hierba húmeda	615	226	367,5
Estiércol de gallina	615	195	317,1
Estiércol de vacuno	615	639	1039,0
Estiércol de caballo	615	451	733,3
Estiércol de porcino	615	649	1055,3
Agua	615	615	1000,0

Para el sustrato hidrolizado, la densidad promedio es de 1176 Kg/m³

Otro de los aspectos importantes que se debe considerar es la relación carbono/nitrógeno, el exceso de carbono produce tiempos prolongados de retención hidráulica, el déficit de carbono reduce la capacidad de fermentación de los microorganismos y un déficit de nitrógeno afecta a la calidad del bio abono orgánico líquido. A continuación se muestra la tabla 3 con los balances de C/N respectivamente, considerando las sugerencias establecidas en ININTEC [9]

Tabla 3 Combinaciones de biomasa, pesos y porcentajes

Tipo de desecho	Hierba (g)	Estiércol (g)	Urea (g)	Biomasa (%)	Vegetal (%)	Estiércol (%)	Urea (%)	Relación (C/N)
Vacuno	1200	285	15	1500	80,0	19,00	1,00	24,7
	1200	502	12	1714	70,01	29,29	0,70	26,5
	1200	780	10	1990	60,30	39,20	0,50	27,6
Equino	1200	285	15	1500	80,00	19,00	1,00	24,4
	1200	497	12	1709	70,22	29,08	0,70	25,8
Porcino	1200	285	15	1500	80,00	19,00	1,00	25,2
	1200	497	12	1709	70,22	29,08	0,70	27,2
Gallinaza	1200	578	0	1778	67,49	32,51	0,00	22,4
Pasto verde	1500	462	10	1972	76,06	23,43	0,51	22,6
Hierba seca	1500	400	5	1905	78,74	21,00	0,26	35

La cantidad de agua de rehidratación y complementaria, hasta sobrepasar el contenido de humedad del 85% se indica en la tabla 5

Tabla 4 Agua para rehidratación de la biomasa seca

Humedad del pasto fresco (%)	Humedad final de la hierba seca (%)	Agua de rehidratación (g)	Biomasa (g)	Agua añadida (g)	Agua Comp. (g)	Sustrato (g)	Volumen del sustrato (lt)
67	12	2272,73	3772,73	3206,82	500	7480	6,18
67	12	2272,73	3986,73	3388,72	700	8075	6,68
67	12	2272,73	4262,73	3623,32	0	7886	6,52
67	12	2272,73	3772,73	3206,82	0	6980	5,42
67	12	2272,73	3981,73	3384,47	0	7366	5,72
67	12	2272,73	3772,73	3206,82	500	7480	6,00
67	12	2272,73	3981,73	3384,47	500	7866	6,31
67	12	2272,73	4050,73	3443,12	0	7494	5,73
67	67	0,00	1972,00	1676,20	0	3648	3,65
67	12	2840,91	4745,91	4034,02	0	8780	8,78

Resultados obtenidos:

En la primera etapa de esta investigación [7], se realizaron cargas con mayor porcentaje de estiércol, alrededor del 60%, que produjo un biogás con un contenido de CH₄ del 24%, CO₂ 76%, después de 60 días de realizadas las cargas, el tipo de llama de combustión del metano es carburante, de color amarillo rojizo y bajo rendimiento calorífico.

En la segunda etapa, [3] la producción de biogás se inicia después de 12 días de haber cargado los reactores experimentales, apareciendo el CO₂ y luego CH₄. En la reacción bioquímica de 1500 gramos de celulosa, estiércol, urea y agua, se produce una cantidad de calor equivalente a 41 cal. La llama obtenida en la mezcla con mayor porcentaje de estiércol es de color rojizo, y la llama que se produce al quemar biogás generado a partir de mayor proporción de desechos vegetales es de color azulada y tiene un ruido característico, es decir, tiene mayor rendimiento energético. Estos dos tipos de llamas se muestran a continuación en la figura 9.



Figura 9 Llamas de combustión de biogás

Analizando los datos de las presiones internas de los reactores, se puede afirmar que a partir del día 12, se inicia el incremento de presión en los cilindros más representativos como son los números: 3, 5, 8, 9 que se observan en la figura 10. Esta variación interna del gasómetro, da una idea de la importante actividad bacteriana, lograda en un tiempo que puede ser 10 veces menor comparado con los modelos tradicionales de generación de metano, que requieren de tiempos de retención hidráulica alrededor de 120 días.

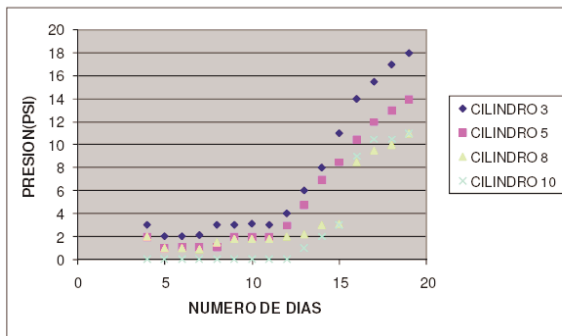


Figura 10 Presión interna en reactores prototipo

CONCLUSIONES

- Los parámetros de funcionamiento para una producción eficiente de biogás son: Presión interna de 0,7 a 1.4 Kg/cm², temperatura del sustrato de 35°C a 38 °C, tiempo de generación de metano de 12 a 14 días, PH de 6.5 a 6.7
- Las muestras más representativas, con contenido de vegetales entre el 60 al 70%, se mezclan con vacuno, equino y gallinaza, a la cual se añade 1% de urea, para balancear la relación C/N, entre 25/1 hasta 30/1, la cantidad de agua complementaria es del 50% con respecto al peso seco de la materia orgánica, el tamaño de la materia prima vegetal es inferior a 1mm.
- El análisis de gases indica los siguientes valores: Presión del biogás 55 PSI, composición CH₄ 23,80%, CO₂ 75,03%, 1,11 % de agua, el tipo de llama de combustión es oxidante, de color azul, de gran desprendimiento energético.
- Tomando en consideración los resultados alcanzados en este trabajo, se puede manifestar que el proceso de fermentación anaeróbica utilizando mezclas con mayor proporción de biomasa pulverizada, permite obtener biogás en un tiempo de retención hidráulico, inferior a 15 días, mucho menor que los métodos tradicionales. Además, la llama obtenida puede alcanzar los 3200 °C, con lo que se podría aplicar en diversas actividades productivas.

RECONOCIMIENTOS

El desarrollo de esta investigación, referente a la generación rápida de Metano (CH₄), mediante cargas de biomasa residual homologadas, ha sido posible gracias al invaluable apoyo de numerosas personas e Instituciones que sumaron esfuerzos para la consecución de este proyecto sobre conversión energética alternativa. Por ello debo agradecer muy gentilmente a Santiago Vaca, Patricio Carrera, Freddy Vega, Ramón Rodríguez. Un especial agradecimiento al Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la ESPE, Carrera de Ingeniería Mecánica, a la empresa ATSIM, por las facilidades prestadas, al Centro de Investigaciones Energéticas, Tecnológicas y Ambientales CITECNIA CORP., Por la apertura para utilizar artículos científicos y técnicos avanzados, al Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Ejército CICTE, y a todas las demás personas que me facilitaron información, les ofrezco mi abrazo de gratitud y eterno reconocimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Bent, Sorensen, Renewable Energy, Second Edition, Academic Press, London, 2000.
2. Ortega Mario, Energías Renovables, Editorial Paraninfo, 2da. Edición, Madrid España, 2000
3. Guasumba J., Carrera P., Vaca S., Optimización del Proceso de Fermentación Anaeróbica para Aprovechamiento de Desechos Vegetales, Sangolquí, 2007
4. Camps, Manuel, Los Biocombustibles, Ediciones Mundi Prensa, Madrid, 2002
5. Castillo, Vega, Cárdenas, La Bioconversión de la Energía, Ediciones Pirámide, Madrid, 1983
6. Wilson, J, La Energía Solar, 1ª. Edición, Editorial Alhambra, Madrid, 1982
7. Guasumba J., Vega F., Rodríguez R., Calefacción Solar en la Fermentación Anaeróbica, Sangolquí, 2006
8. Guasumba J., Método de Degradación Rápida de Biomasa Residual, Quito, 2004
9. Inintec, Como Construir un Biodigestor, Instituto de Investigación Tecnológica e Industrial, Lima, 1983