

CAPÍTULO 3

BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA

3.1. TIPOS DE MATERIA PRIMA

El sustrato es el material de partida en la producción de biogás. En principio, todos los materiales orgánicos pueden fermentar o ser digeridos. Sin embargo, sólo algunos pueden ser utilizados como sustratos en plantas de producción sencillas.

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas.

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico.

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina.

En lo que se refiere a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos.

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias entre distintos autores. Esto es debido al sinnúmero de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados, por lo tanto, los valores brindados en la Tabla 3.1. deben ser tomados como orientativos.

Como norma se deberá tomar en cuenta que a raíz de estar trabajando en un medio biológico sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas.

En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso y al tipo de alimentación y manejo de los mismos.

Tabla 3.1. Cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y su rendimiento en gas²⁰.

ESPECIE	PESO VIVO kg	kg ESTIÉRCOL/día	Sólidos Volátiles (l/kg.)	CH4 (%)
Cerdos	50	4,5 - 6	340 - 550	65 - 70
Vacunos	400	25 - 40	90 - 310	65
Equinos	450	12 - 16	200 - 300	65
Ovinos	45	2,5	90 - 310	63
Aves	1.5	0,06	310 - 620	60
Caprinos	40	1,5	110 - 290	--

²⁰ http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/grilli/grilli_biodigest.htm. Manual de producción de biogás. Español.

3.2. TIPOS DE MICROORGANISMOS

Fermentación Anaeróbica²¹.- Este tipo de fermentación es un proceso natural, conocido por el hombre desde tiempo atrás, pero poco utilizado, especialmente en nuestro medio. Es una fermentación que ocurre en ausencia de oxígeno (sin aire) y produce, como resultado final, un gas combustible conocido como biogás, además de un efluente líquido alcalino que es un excelente abono orgánico.

En el desarrollo de este proceso ocurren simultáneamente tres etapas²² dentro del sistema:

PRIMERA ETAPA:

Ocurre una hidrólisis generalizada de la materia orgánica compleja adicionada al digestor, realizada por enzimas producidas por diversas bacterias: proteolíticas, lipóticas y carbolíticas, que destruyen inicialmente las proteínas, grasas y carbohidratos presentes, convirtiéndolas en sustancias más simples, en su mayoría ácidos grasos.

SEGUNDA ETAPA:

El producto de la primera etapa, es tomado por un segundo tipo de bacterias, conocidas generalmente como acidogénicas, que transforman la materia orgánica hidrolizada, en ácidos orgánicos de bajo peso molecular, principalmente ácido acético (CH_3COOH) y ácido propiónico ($\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$).

En este grupo de microorganismos formadores de ácidos se encuentran especies de Clostridium, Desulphovibrio, Corynebacterium, Lactobacillus, Actinomyces, Staphylococcus y Escherichia coli.

Durante esta etapa no hay formación de metano ni estabilización del sustrato.

²¹ http://www.eco-gel.com/digestión_anaerobia.htm. Digestión anaerobia. Español.

²² VELASTEGUI, J. et al. Generación de biogás en las áreas rurales del Perú, Perú. Dirección de Tecnología. Producción de Biogás a partir de Desechos Orgánicos. No. 3229. 1980, p 2.

TERCERA ETAPA:

Los ácidos de bajo peso molecular obtenidos, son a su vez tomados por un tercer grupo de bacterias, llamadas propiamente metanogénicas, que los transforman en gas metano y dióxido de carbono principalmente. Estas bacterias, que incluyen *Metanobacterium*, *Metanobacillus*, *Metanococcus* y *Metanosarcina*, son estrictamente anaeróbicas y de lento crecimiento.

El comportamiento microbiológico es más complejo que estas tres etapas; dentro de un biodigestor en operación ocurren multitud de reacciones y fermentaciones simultáneas de docenas de bacterias diferentes, que trabajan de forma simbiótica y elaboran gran variedad de productos, que a su vez son tomados por otras bacterias que retransforman para otros grupos. Por lo anterior, con el biogás se encuentran trazas de Hidrógeno (H_2), Nitrógeno (N_2), Ácido Sulfhídrico (H_2S) y otros. Cualquier cambio brusco que ocurra dentro del digestor en funcionamiento destruirá el delicado equilibrio establecido en el sistema y el proceso se detendría, o desviaría la reacción para otro lado.

Casi un 75% del gas metano producido durante el proceso, proviene del ácido acético formado en los pasos intermedios. El hidrógeno producido por algunas bacterias se recombina en forma casi instantánea con dióxido de carbono para formar metano y agua en un proceso llamado de biometanización.

Varios factores alteran el proceso de fermentación anaeróbica; el más importante de ellos es el cambio en la acidez del sistema. El punto óptimo de fermentación está entre los 7.0 y 8.5²³ de la escala de pH, es decir un tanto alcalino.

Una vez establecida la reacción metanogénica total, con la adición de las bacterias adecuadas en cantidad y calidad suficientes y se haya estabilizado el pH de la misma por encima de 7.4²⁴ que es considerado como el valor más

²³ GONZALEZ, J.C. MUÑOZ, L. Aprovechamiento de desechos para la generación de Bio-Gas como fuente de energía. Tesis Ing. Civil. Panamá. Universidad de Panamá. 1978. p 9.

²⁴ SEUFERT, C. Biogas plants. Federal Republic of Germany. German Appropriate Technology Exchange. No. 1. 1978. p 8.

adecuado, la reacción es muy estable y la gran cantidad de biomasa en fermentación actúa como una solución amortiguadora, que se opone a cualquier cambio brusco dentro de ella. Si por algún motivo se llegara a bajar el pH a 6.5 o menos, cesa completamente la producción de metano, pero la fermentación continuaría, produciendo principalmente dióxido de carbono.

Otro factor importante a tener en cuenta para una adecuada fermentación es la temperatura de la masa durante el proceso. Existen tres rangos de operación bien definidos:

1. El criofílico, que opera por debajo de los 15°C (59°F). A esta temperatura la reacción es muy lenta y casi nula; la producción de metano se detiene debajo de los 17°C.

Este es el principio utilizado por los refrigeradores domésticos para conservar, alimentos perecederos, entre los 4 a 6°C. Por debajo del punto de congelación del agua cesa completamente cualquier fermentación, por lo cual, la carne congelada se conserva casi indefinidamente.

2. El mesofílico, opera entre los 17 y 40°C (60 a 104°F), la temperatura ideal es la de los 35 a 37°C (95 a 99°F). A esta temperatura la fermentación es rápida y efectiva desde el punto de vista de velocidad de degradación de la materia orgánica.

Es por esta razón que los alimentos se pudren rápidamente en tierra caliente cuando no están refrigerados.

3. El termofílico, que opera a temperaturas entre los 40 a 64°C (104 a 149°F) con un ideal de 55°C. A estas temperaturas la fermentación es extremadamente rápida y efectiva, pero también es supremamente sensible a los cambios bruscos de pH y temperatura.

Comparando el tiempo que tarda en degradarse totalmente por ejemplo el estiércol del ganado, en el rango criofílico sería aproximadamente 120 días,

mientras que en el mesofílico, puede durar entre 40 y 55 días. En el rango termofílico la operación tardaría unos 4 a 5 días. De lo anterior se deduce que con un control adecuado de temperatura de la masa en fermentación, se puede lograr una aceleración considerable en la velocidad del proceso.

El grado y la calidad de la agitación interna que se logre, es otro factor que ayuda a mejorar y acelerar la eficiencia de la fermentación anaeróbica, pues da oportunidad a las bacterias de estar en contacto con material no digerido.

Un factor limitante del proceso anaeróbico es el de la presión total de operación. Cuando la presión hidrostática a que están sometidas las bacterias es superior a 4 psi, su velocidad de trabajo se reduce en un 50%. Con el aumento de presión disminuye el rendimiento pero no llega a detenerse el proceso.

En digestores sencillos, cuyo ancho es menor que la profundidad y sin más efecto de agitación que el burbujeo del gas producido, cuando sube a la superficie, no se debe sobrepasar una profundidad efectiva de líquido de 3.6 m. Si se ha de sobrepasar esta profundidad, es necesario proporcionar agitación mecánica para que las bacterias puedan operar a diferentes profundidades.

3.3. PRODUCTOS FINALES

Es muy conocido el efecto por el cual, una gran variedad de desechos orgánicos se degradan produciendo un gas combustible, rico en metano. El proceso se produce siempre y cuando el material se encuentre en un ambiente cerrado libre de oxígeno (fermentación anaeróbica). El gas así producido se denomina BIOGÁS y los residuos sólidos producidos se denominan BIOABONO.

Tanto el biogás como el bioabono son de gran utilidad.

3.3.1. BIOGÁS²⁵

Se llama biogás al gas que se produce mediante un proceso metabólico de descomposición de la materia orgánica sin la presencia del oxígeno del aire. Este biogás es combustible, tiene un alto valor calórico de 4700 a 5500 kcal/m³ y puede ser utilizado en la cocción de alimentos, para la iluminación de naves y viviendas, así como para la alimentación de motores de combustión interna que accionan, máquinas, herramientas, molinos de granos, generadores eléctricos, bombas de agua y vehículos agrícolas o de cualquier otro tipo. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente y está compuesto por:

Metano (CH₄) 55 a 70 %.

Anhídrido carbónico (CO₂) 35 a 40 %.

Nitrógeno (N₂) 0.5 a 5 %.

Sulfuro de hidrógeno (SH₂) 0.1 %.

Hidrógeno (H₂) 1 a 3 %.

Vapor de agua: trazas.

Como se observa, el aporte calórico fundamental lo ofrece el metano, cuyo peso específico es de alrededor de 1 kg/m³. Si se desea mejorar el valor calórico del biogás se debe limpiarlo de CO₂. De esta forma se logra obtener metano al 95%. El valor calórico del metano puede llegar hasta 8260 kcal/m³ con una combustión limpia (sin humo) y casi no contamina. El uso del biogás en motores de combustión interna permite que se soporten altas compresiones sin detonaciones.

En principio el biogás puede ser utilizado en cualquier tipo de equipo comercial para uso de gas natural, la Figura. 3.1. resume las posibles aplicaciones.

²⁵ <http://www.monografias.com/trabajos15/utilización-biogas.shtml>. consideraciones sobre la utilización del biogás. Que es el biogás. Español.

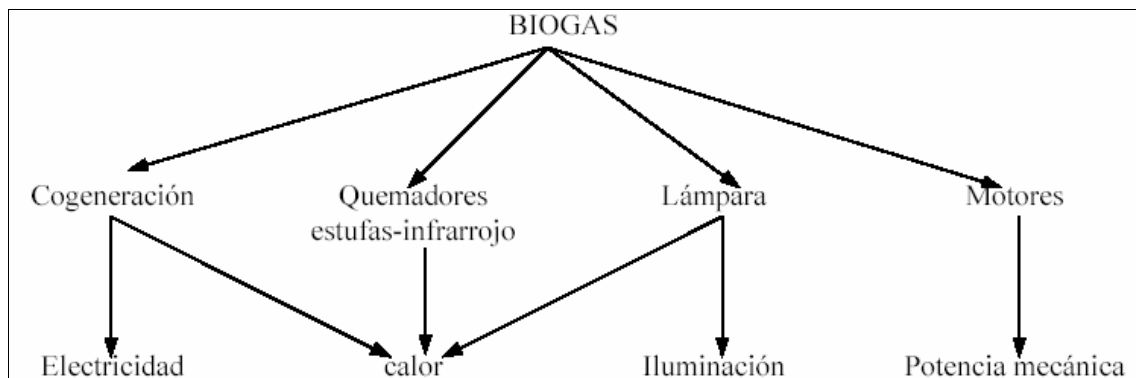


Figura 3.1. Posibles aplicaciones del Biogás²⁶.

Aplicaciones:

En la Tabla 3.2. se han listado los principales artefactos que utilizan biogás juntamente a su consumo medio y su eficiencia.

Tabla 3.2. Consumo medio de artefactos que utilizan biogás.

ARTEFACTO	CONSUMO	RENDIMIENTO (%)
Quemador de cocina	300 – 600 l/h	50 - 60
Lámpara a mantilla (60w)	120 – 170 l/h	30 - 50
Heladera de 100 L	30 - 75 l/h	20 - 30
Motor a gas	0,5 m ³ /kwh o Hph	25 - 30
Quemador de 10 kw	2 m ³ /h	80 - 90
Infrarrojo de 200 w	30 l/h	95 - 99
Cogenerador	1 kw Elec. 0,5 m ³ /kwh. 2kw térmica	hasta 90

Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando el paso del gas de los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisorio e interesante su utilización a gran escala.

²⁶ http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/grilli/grilli_biodigest.htm. Manual de producción de biogás. Español.

Las lámparas a gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se las utilice debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan.

Las heladeras domésticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas. Estos equipos funcionan bajo el principio de la absorción (generalmente de ciclo amoníaco refrigerante - agua absorbente). Recientemente se han desarrollado equipos para el enfriamiento de leche y/u otros productos agrícolas lo que abre un importante campo de aplicación directa y rentable del mismo.

Los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes (especialmente en criadores y parideras) presentan como ventaja su alta eficiencia, lo cual minimiza el consumo de gas para un determinado requerimiento térmico.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto nafteros como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110, lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido.

En los motores de ciclo Otto el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogás con una merma de la potencia máxima del 20% al 30%.

A los motores de ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás diesel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables. El gasoil no puede ser reemplazado en los motores

funcionando a campo del 85% al 90%, debido a la autonomía conseguida menor comparada con la original.

La proporción de H₂S en el biogás causa deterioros en las válvulas de admisión y de escape de determinados motores, obligando a un cambio más frecuente de los aceites lubricantes. El grado de deterioro en los motores varía considerablemente y los resultados obtenidos experimentalmente suelen ser contradictorios.

Los motores a biogás tienen amplio espectro de aplicación siendo los más usuales el bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural. El otro uso muy generalizado es su empleo para activar generadores de electricidad.

3.3.2. BIOABONO

El bioabono es uno de los mejores abonos naturales, pues concentra muchos elementos residuales que ordinariamente, en la descomposición aeróbica, se pierden por su carácter volátil.

Características²⁷:

El proceso fermentativo y de producción de biogás no extrae más que carbono, trazas de azufre, hidrógeno y algo de nitrógeno por reducción de NH₃. Para una alimentación media de 50 kg/día y una producción diaria de 1 m³ de gas, la masa se reducirá solamente en un 2%.

La viscosidad del efluente o bioabono se ve reducida drásticamente debido a la transformación de los sólidos volátiles (un 50% de los mismos son reducidos en un digestor en régimen). Esto hace al efluente mucho más manejable para su utilización.

²⁷ http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/grilli/grilli_biodigest.htm. Manual de producción de biogás. Español.

El efluente carece prácticamente de olor debido a que las sustancias provocadoras del mal olor son reducidas casi en su totalidad en función al tiempo de retención.

La relación Carbono/Nitrógeno se ve reducida mejorando en forma general el efecto fertilizante del efluente.

La Tabla 3.3. muestra los valores aproximados de la composición en los principales macronutrientes, pero se debe tener en cuenta que estos valores son sólo indicativos, pues según el tipo de alimentación, raza, manejo, etc.; que tengan los animales y el tratamiento que sufran los estiércoles antes y después de su digestión, estos valores pueden variar en forma significativa.

Todos los nutrientes utilizados por los vegetales en forma importante (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) al igual que los elementos menores son preservados durante la fermentación. En el caso del fósforo su porción directamente asimilable no se ve afectada conteniendo los efluentes un 50% en esta forma.

En contraste con los otros nutrientes, el nitrógeno contenido en un 75% en macromoléculas orgánicas y un 25% en forma mineral en los estiércoles, sufre una transformación reduciendo a un 50% el nitrógeno orgánico y aumentándose a un 50% el nitrógeno en forma mineral directamente asimilables por las plantas.

Con respecto a este último nutriente, es muy importante el tratamiento que se le de al efluente después de que sale del digestor, debido a que a medida que transcurren los días, se incrementa la pérdida de nitrógeno mineral (5% en 11 días, 15% en 20 días). En el caso de secar el efluente la pérdida puede llegar al 90%.

Tabla 3.3. Valores aproximados de la composición del bioabono.

MATERIAL DE CARGA ESTIÉRCOLES	COMPOSICIÓN (%)			RELACIÓN NUTRITIVA		
	N ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	N ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O
Vacuno	0,46	0,2	0,5	2,3	1	2,5
Porcino	0,72	0,4	0,3	1,8	1	0,6
Aviar (seco)	3,60	4,6	2,5	0,8	1	0,6

Efecto del efluente sobre el suelo:

Debido a su rápida descomposición el efluente brinda rápidamente nutrientes disponibles. Los ácidos húmicos presentes en este material contribuyen a mejorar la estructura del suelo y su porosidad aumentando al mismo tiempo la capacidad de intercambio. La cantidad de humus estable duplica generalmente al que se consigue mediante la utilización de estiércoles incrementando al mismo tiempo en forma significativa la actividad biológica del suelo.

El elevado contenido de nitrógeno en forma de amonio (NH₄), presente en los efluentes, ayuda a evitar la pérdida por lavado y lixiviación del nitrógeno del suelo al igual que las pérdidas por volatilización producidas por los procesos de desnitrificación biológica.

Aspecto sanitario:

A pesar de que este aspecto no puede ser ubicado estrictamente como un uso, aporta indudables beneficios al reemplazar otros costosos sistemas para obtener el mismo grado de descontaminación.

El tratamiento de los desechos por vía anaeróbica, elimina la acumulación de éstos a la intemperie, evitando la proliferación de moscas, mosquitos, otros insectos y roedores portadores de peligrosas enfermedades.

El proceso en sí mismo produce una reducción del 90% al 99% de los principales patógenos animales (estafilococos, salmonella y pseudomonas). Esta reducción muy importante desde el punto de vista del saneamiento está

regulada por la temperatura de fermentación y la cantidad de días que permanece la biomasa dentro del digestor (tiempo de retención).

El proceso fermentativo también tiene un efecto beneficioso si se lo emplea como biofertilizante ya que un gran porcentaje de semillas de las malezas se tornan inviables.

Otros usos:

El efluente de los digestores tiene otras aplicaciones entre las cuales merecen mencionarse: la preparación de compost, la alimentación de algas y peces y de animales en raciones balanceadas.

Se han realizado numerosos ensayos y extendido sobre todo en Oriente, el uso del efluente como sustrato para el crecimiento de algas y peces en estanque cerrados. En otro tipo de estanques también se crían patos y peces, los que son aprovechados para confeccionar la ración de los animales conformando lo que se ha dado en denominar “Granjas integradas”, siendo éstas la base para un pleno desarrollo sostenible.