

**USO Y MANTENIMIENTO DE BIODIGESTORES DE CÚPULA FIJA, UNA
FORMA DE CONTRIBUIR AL DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE.**

MSc; José V. Sánchez Rodríguez¹, MSc; Ana E. Hernández Vega², MSc; Anivys
Pavón Hernández²

¹Departamento de Química e Ingeniería Química, Universidad de Matanzas.

²Departamento de Técnicas de Dirección, Universidad de Matanzas.

(Todos miembros del Grupo Universitario de Desarrollo Local de la Universidad de
Matanzas)

Universidad de Matanzas. Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.

Resumen.

El trabajo expone algunos de los resultados obtenidos en el diseño, la construcción y explotación de biodigestores de primera generación, del modelo chino o de cúpula fija, en el marco del desarrollo sostenible a nivel local. Se presentan recomendaciones para el proceso de puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de estos. Se declaran algunas de las principales modificaciones realizadas a los diseños originales de este tipo de biodigestores, con énfasis en el registro de evacuación de lodos sedimentables, el agitador manual y la laguna o tanque de compensación sobre la cúpula, se realiza una explicación simplificada del funcionamiento de estos sistemas de forma tal que le sirva de orientación a los operarios sobre la importancia de cada una de las operaciones que se realizan.

Palabras claves: Biodigestor, digestión anaerobia, biogás, biomasa.

Introducción.

El mundo actual se enfrenta a una situación desfavorable desde el punto de vista energético y ambiental, ya que cada vez se hacen más caros y escasos los tradicionales combustibles fósiles derivados del petróleo cuyas reservas están abocadas a su extinción por la sobreexplotación a que están sometidas, a la vez que el uso excesivo de los mismos genera la emisión de fuertes contaminantes ambientales cuyos efectos se están apreciando de forma cada vez más significativa, dada su marcada influencia en el cambio climático.

Por los motivos antes citados se hace necesario el trabajo encaminado al desarrollo de tecnologías para el empleo de fuentes renovables de energía que sean capaces de ir sustituyendo de forma paulatina las fuentes tradicionales, fundamentalmente los hidrocarburos. En este campo se viene trabajando desde hace varias décadas en el empleo de diferentes fuentes energéticas, entre las que se pueden citar la energía eólica, la energía solar con el desarrollo de las celdas fotovoltaicas y los sistemas de calefacción y refrigeración solar, la energía hidráulica, la maremotriz y la energía de la biomasa, entre otras.

A partir de la biomasa se puede obtener energía de varias formas, entre las que se destaca su empleo para la producción de biogás. Para esto la biomasa debe ser procesada mediante biodigestores, en los cuales esta se transforma mediante un proceso anaeróbico por la acción de bacterias en una mezcla de gases, formada fundamentalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) denominada biogás y lodos finales en los cuales se estabiliza la materia orgánica originándose un abono orgánico de alta calidad.

Con el empleo de los biodigestores los pobladores rurales han aprendido a transformar los residuales de la cría de animales estabulados (estiércol) de una fuente de contaminación ambiental considerable en una solución a varios problemas de vital importancia para su labor y supervivencia, ya que a través del proceso de digestión anaeróbica el estiércol se transforma en biogás, que puede ser utilizado para la cocción de los alimentos en el hogar, así como la comida de los animales, para alimentar un motor de combustión interna con el que se puede accionar un molino, una bomba de agua o generar electricidad. Este biogás también puede ser utilizado para la conservación de granos y semillas o para higienizar las jaulas de cría de conejos o aves. También se puede usar el biogás en el alumbrado y en la refrigeración.

Los lodos generados por el biodigestor, así como el efluente líquido del proceso constituyen excelentes abonos orgánicos, que no solo aportan elementos nutritivos al suelo, sino que también ayudan a la recuperación de los micro y macro organismos edáficos, aumentando la fertilidad del suelo, ya que estos son los responsables de la

recirculación de los nutrientes y de su asimilación por las plantas (Sánchez, J.V y otros, 2011).

Desarrollo.

Primeras acciones en el uso del biogás.

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al 1600 identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica. En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas. El gas producido se le utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se llegó a inyectarlo en la red de gas comunal. Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia.

Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y en la crisis energética de la década del 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos que intervienen en la degradación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno). Estos progresos en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico. Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania.

A lo largo de los años transcurridos, la tecnología de la digestión anaeróbica se fue especializando abarcando actualmente diferentes campos de aplicación con objetivos muy diferentes.

En Cuba, el uso de los biodigestores va teniendo una mayor presencia a partir de finales de la década de los 90 del pasado siglo, fundamentalmente en las zonas rurales, destacándose un número apreciable de estos (alrededor de 160) en la provincia de Matanzas. En sentido general en el país ha ido aumentando el interés por esta fuente de energía, motivado fundamentalmente por trabajo de sensibilización de los pequeños productores realizado por la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP), la Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA), la Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF), entre otros, relacionado con el incremento en el empleo de las técnicas de producción agroecológica (Sánchez, J.V. y otros, 2011).

Aspectos prácticos del funcionamiento de los biodigestores de primera generación.

¿Qué es un biodigestor de primera generación?

Los biodigestores de primera generación son dispositivos anaerobios de volúmenes pequeños, de fácil construcción y operación, creados para ser operados por personal no especializado con el objetivo de contribuir a la solución de los problemas relacionados con la satisfacción de las necesidades de combustible doméstico fundamentalmente así como para la obtención de abono orgánico y como sistemas de tratamiento de residuales de alta carga orgánica. Estos se fabrican a partir de materiales de fácil adquisición y por métodos relativamente sencillos. En los biodigestores de primera generación el tiempo de retención hidráulico (TRH) es igual al tiempo de retención de sólidos (TRS), por lo que su eficiencia es baja y requieren de un alto tiempo de retención del material con que se alimentan para lograr la remoción de los contaminantes y la producción de biogás.

En el presente material se hace énfasis en este tipo de biodigestores, pues son los que mejor se ajustan a las condiciones económicas y a las características de las zonas rurales y suburbanas de Cuba, donde el biogás puede ser utilizado para solucionar el problema de la cocción de alimentos en los núcleos familiares contribuyendo a preservar el Medio Ambiente y a la obtención de bio abonos para el mejoramiento de los suelos con el correspondiente incremento de los rendimientos agrícolas, así como para disminuir la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

Actualmente se conocen dos diseños tradicionales de biodigestores de primera generación (hasta 50 m³) para la producción de biogás, en dependencia de su origen: de **campana flotante** (modelo hindú) y de **cúpula fija** (modelo Chino).



Fig. 1: Biodigestor de campana flotante, modelo hindú.



Fig.2. Biodigestor de campana flotante, modelo hindú con contrapesos para aumentar la presión del biogás

El biodigestor hindú se distingue por el uso de una campana móvil, que asciende al aumentar la presión del gas, esta puede ser de metal, hormigón, ferro cemento, ferro bambú o plástico. Además el biodigestor está compuesto por un tanque de almacenamiento en forma cilíndrica, que puede ser construido de piedra, ladrillos y hormigón. Para permitir la entrada de la materia orgánica y la salida del bio abono se

emplean dos tubos (de plástico, fibrocemento, cerámica u otros) que conectan el tanque de almacenamiento con el de carga y descarga; También cuenta con tuberías, válvulas de corte y seguridad que garantizan el buen funcionamiento del biodigestor (Lugones, 2003).

El diseño del tipo chino utiliza para el almacenamiento de biogás un domo o cúpula fija unida al tanque de almacenamiento, que puede ser de ladrillo o de elementos prefabricados de hormigón. Estas instalaciones tienen como ventaja su elevada vida útil (pueden durar como promedio 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático.

Estos sistemas poseen como desventaja el alto costo de la inversión inicial; por ejemplo actualmente en Cuba se estima un costo de alrededor de \$1000,00 CUP por m³, lo que ha limitado su generalización.



Fig. 3: Biodigestor de cúpula fija, modelo chino.

En la actualidad se han probado nuevos diseños que han logrado disminuir considerablemente los costos iniciales de los biodigestores. Una de estas instalaciones son las plantas de biogás hechas de polietileno. Este sistema puede tener distintas configuraciones; alargado, en forma de gusano o en forma de saco, y es de fácil instalación. Los componentes fundamentales de este biodigestor son: un bolso de polietileno, o material similar, de película delgada capaz de soportar las presiones normales de trabajo del biogás y donde se almacena la excreta mezclada con agua; siempre se debe dejar el volumen necesario para almacenar el biogás; con el fin de lograr el buen funcionamiento de la instalación son necesarios otros accesorios como: válvulas de corte, de seguridad, tuberías y adaptadores. Dada la fragilidad relativa de la bolsa de polietileno, que constituye el cuerpo del biodigestor, para lograr una mayor vida útil de estos dispositivos se recomienda que se le construya una protección perimetral, mediante una cerca de maya u otro material similar que evite que el ganado pueda transitar próximo al biodigestor, pues una pisada sobre el mismo puede provocar la rotura del polietileno e inutilizarlo. También es recomendable que se le construya un techado rústico que puede ser de guano u otro material similar a fin de protegerlo de las

intensas radiaciones solares propias de nuestro país, las cuales pueden deteriorar también la cubierta de polietileno (Sánchez, J.V., 2003).



Fig. 4: Biodigestor tubular de polietileno.

Otro tipo de biodigestor para la producción de biogás en la que se ha logrado disminuir los costos hasta un 30 % con respecto a los prototipos tradicionales es el que se caracteriza por tener una estructura semiesférica de polietileno de película delgada en sustitución de la campana móvil del modelo hindú o de la cúpula fija del modelo chino, y un tanque de almacenamiento de piedra y ladrillos como los empleados en los prototipos tradicionales. Este tipo de instalación posee a su favor que resulta más económica que los sistemas tradicionales, y la estructura de polietileno flexible puede llegar a alcanzar hasta 10 años de vida útil, si no sufre ningún daño mecánico por manejo inapropiado o por otros factores externos como la incidencia directa de las radiaciones solares.



Fig. 5: Biodigestor de cubierta flexible.

Modificaciones introducidas a los modelos originales de biodigestores de cúpula fija.

En la actualidad se han ideado modelos de biodigestores de cúpula fija que se le adiciona un **sistema de evacuación directa de los lodos sedimentables**, lo cual alarga el período de limpieza considerablemente, ya que los modelos tradicionales, en dependencia del régimen de funcionamiento, requieren una limpieza de estos lodos sedimentados en el fondo con períodos que oscilan entre los 6 meses y los 2 años. Para esta evacuación se debe construir el registro de descarga en un bajo nivel provisto de un tapón o válvula. Esta limpieza debe realizarse esporádicamente (una vez al mes) para evitar la salida de materia no digerida; el período de ejecución de esta acción depende del régimen de alimentación, el tipo de residual empleado y el volumen del biodigestor.

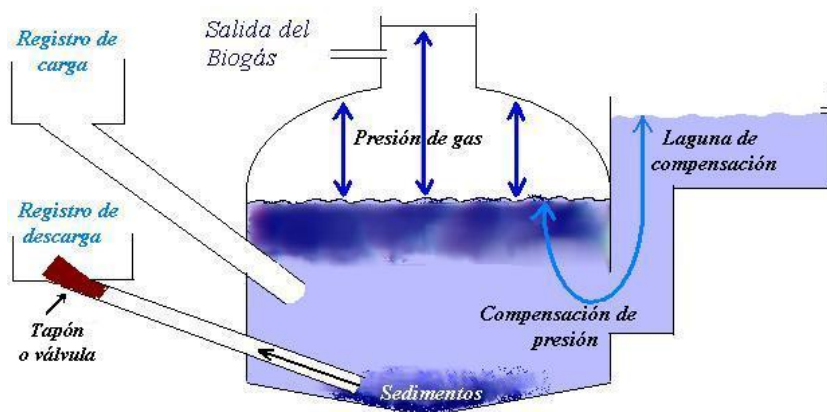


Fig. 6: Biodigestor de Cúpula Fija con extracción de lodos.



Fig. 7: Biodigestor con sistema de extracción de lodos sedimentables (sección superior derecha) y tanque de compensación encima de la cúpula.

Otra modificación que se le ha introducido a los modelos originales de biodigestores de cúpula fija (modelo chino), es la construcción de la **laguna o tanque de compensación sobre el área que ocupa la cúpula** o domo donde se concentra el biogás producido durante el proceso de digestión anaerobia. Esta modificación tiene una serie de ventajas, con respecto al modelo tradicional, las cuales pueden resumirse en que:

- Ocupa menor área de construcción.
- Minimiza el volumen de excavación.
- Ahorra el movimiento de tierra para la construcción del tanque de compensación.
- Disminuye los costos de construcción, pues ahorra materiales.
- Minimiza el tiempo de ejecución.
- La laguna encima de la cúpula favorece su impermeabilización.
- La salida de los lodos sedimentables se realiza aprovechando las cargas hidrostáticas.

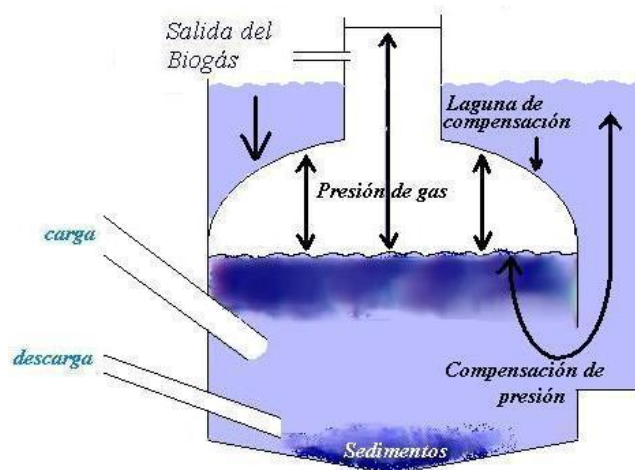


Fig. 8: Esquema de biodigestor con laguna de compensación encima de la cúpula.



Fig. 9: Biodigestor de cúpula fija con laguna de compensación encima de la cúpula (recién terminado de construir).

Para mejorar el funcionamiento de los biodigestores también se le puede incorporar un **agitador mecánico** que se encargará de crear turbulencias en el interior del biodigestor y romper la costra indeseable, que en muchas ocasiones, dificulta la salida del biogás a la cúpula. La turbulencia en el interior del biodigestor rompe las concentraciones de bacterias en lugares específicos distribuyéndose por todo el biodigestor, esto aumenta el contacto de las bacterias con la materia orgánica por lo cual mejoran las reacciones entre ellas y así la producción de biogás. El agitador puede acoplarse lateralmente, como se muestra en la figura, o sobre la cúpula acoplado a la pared del cuello, siempre que esté situado dentro de una manga (tubo), que posea su extremo inferior por debajo del nivel superficial de la biomasa, es decir, dentro de esta; de este modo el biogás acumulado en la cúpula no puede escaparse y las aspas del agitador cumplen con efectividad sus funciones.

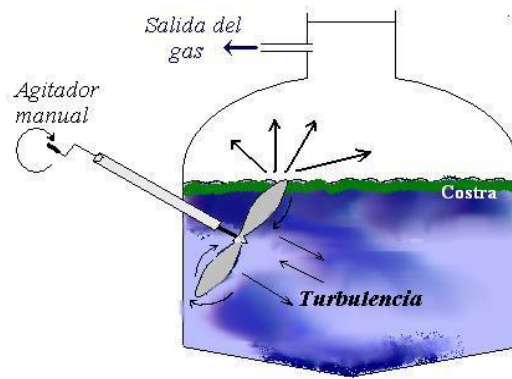


Fig. 10: Biodigestor de Cúpula Fija con Agitador Acoplado.

Las modificaciones declaradas anteriormente tienen como fin mejorar la eficiencia en el funcionamiento de los biodigestores de cúpula fija. Ahora bien, para lograr estos fines es preciso tener información sobre como operar el biodigestor desde su etapa de puesta en marcha, hasta la operación y el mantenimiento necesario para alargar el período y la utilidad de sus prestaciones.

A continuación detallaremos de forma general como lograr un funcionamiento exitoso de los biodigestores de cúpula fija (modelo chino), basado en las experiencias prácticas acumuladas.

Puesta en marcha.

Un aspecto indisolublemente ligado al funcionamiento exitoso de los biodigestores lo constituye el inicio, arrancada o puesta en marcha de estos, siendo una de las etapas más importantes del proceso anaerobio, y para muchos la más importante en el orden práctico.

Si el biodigestor no se arranca adecuadamente, pueden suceder varios casos, entre los que se destacan los siguientes:

- Que el proceso no salga nunca de esta etapa.
- Que esta etapa sea extremadamente larga en tiempo.
- Que la puesta en marcha sea satisfactoria, pero a expensas de un costo excesivo.

Por todo lo anterior se hace necesario escoger un método de puesta en marcha donde se combinen estos factores; es decir, que se gane en tiempo y sea factible económicamente.

La duración de esta etapa depende de numerosos parámetros físicos, químicos y biológicos, tales como la composición y fortaleza del residuo; volumen, actividad y adaptación del inóculo; parámetros ambientales como temperatura, pH, nutrientes y contenido de especies químicas en el residuo; parámetros operacionales como carga orgánica, tiempo de retención y configuración del reactor (tamaño y geometría)

¿Como realizar la puesta en marcha?

Para lograr una arrancada exitosa del biodigestor deben observarse algunas recomendaciones, las cuales pueden variar de un biodigestor a otro, en dependencia de

sus características constructivas, tipo de residual con el que trabajará, volumen de residual a tratar y expectativas de su funcionamiento. Por esto planteamos que lo que recomendamos a continuación no necesariamente constituye una receta inviolable y que deberá ajustarse a cada caso en particular.

Se considera que para acelerar el proceso de arrancada es preciso suministrar al biodigestor una serie de elementos que contribuyan a mejorar su funcionamiento; entre estos elementos se puede citar el suministro de un inóculo que aporte las bacterias necesarias al proceso en una cantidad que sea suficiente para su multiplicación rápida, la presencia de sustancias que puedan actuar como nutrientes o estimulantes (lo cual no siempre es necesario) y como aspecto muy importante observar el respeto a la disciplina tecnológica para el funcionamiento práctico del sistema, lo cual se traduce en la correcta realización de cada una de las operaciones a realizar.

A continuación ofrecemos algunas sugerencias que pueden ser útiles a la hora de controlar estos factores en el proceso de puesta en marcha o arrancada de un biodigestor (Sánchez. J.V. y otros, 2011).

1. **Inóculo**(sustancia o mezcla de estas que contengan parte de las bacterias necesarias para que comience el proceso de formación del biogás).
 - a. Lodos anaerobios procedentes de un biodigestor que esté operando con el mismo residuo a tratar.
 - b. Lodos anaerobios procedentes de distintos biodigestores operando con diversos residuos (mezcla de lodos)
 - c. Lodos anaerobios procedentes de un biodigestor que esté operando con sustratos complejos.
 - d. Lodos anaerobios procedentes de biodigestores anaerobios en general.
 - e. Excretas vacunas frescas.**
 - f. Lodos procedentes del fondo de lagunas de oxidación, lagos o ríos.
 - g. Lodos procedentes de zanjas o canales de desagüe de conducción de las aguas residuales que se vayan a tratar.

Los inóculos más apropiados son los indicados en a., b., y c., y en última instancia los indicados en d. Para la puesta en marcha de biodigestores de primera generación (modelo chino o de cúpula fija y modelo hindú o de campana flotante) es eficiente el inóculo indicado en el **inciso e**. Es recomendable acumular una determinada cantidad de la biomasa a emplear para la alimentación del biodigestor y dejarla en reposo durante varios días en un recipiente cerrado mezclado con agua, para ir creando el ambiente anaerobio, y agregarlo al biodigestor durante la carga inicial. Con esta acción se acelera el proceso de formación del biogás.

2. Nutrientes y estimulantes.

La función de los nutrientes y estimulantes es suplir las deficiencias en la relación de carbono, nitrógeno y fósforo cuando esta es muy desbalanceada.

Para residuos de muy baja fortaleza son recomendables:

- a. Metanol
- b. Lactosa

Esta última es la de mayor uso con estos fines, se obtiene como subproducto en la industria láctea y en los países productores de leche su adquisición es relativamente económica.

También se ha podido observar que en los biodigestores de cúpula fija se puede estimular el proceso de formación de biogás con la adición de pequeñas cantidades de mieles finales del proceso de fabricación de azúcar de caña (miel de purga).

Esta acción es recomendable cuando se necesite un volumen de biogás mayor del normal, para lo cual el día antes de que se necesite una mayor disponibilidad de biogás se le agrega la miel de purga, la cual por su gran aporte de carbohidratos favorece el incremento del proceso de formación de biogás. También existen experiencias positivas en la adición de microorganismos beneficiosos al suelo obtenidos por un proceso de fermentación anaerobia de sustratos de la finca libre de productos químicos, los que al ser añadidos durante el proceso de alimentación diaria contribuyen a elevar la eficiencia del proceso de digestión anaerobia, incrementando la producción de biogás.

3. Factores operacionales.

- a. Régimen de alimentación (frecuencia con que se alimenta el biodigestor).
- b. Grado de dilución (Proporción entre la cantidad de agua y la materia orgánica con que se alimenta el biodigestor) (ver tabla 1).
- c. Temperatura.
- d. pH.

Tabla 1: Algunas posibles fuentes de biogás.

Fuente.	Excreta húmeda diaria (kg) animal.	m ³ de biogás por día.	Proporción excreta /agua.	Tiempo de retención aconsejable.
Vaca.	10	0,360	1:1	40 días
Toro.	15	0,540	1:1	40 días
Cerdo (50kg)	2,25	0,101	1:1-3	40 días
Pollo.	0,18	0,008	1:3-8	30 días
Caballo.	10	0,300	1:1-3	40 días
Carnero.	2	0,100	1:1-3	40días
Ternero.	5	0,200	1:1	40 días
Persona adulta.	0,40	0,025	1:1	60 días

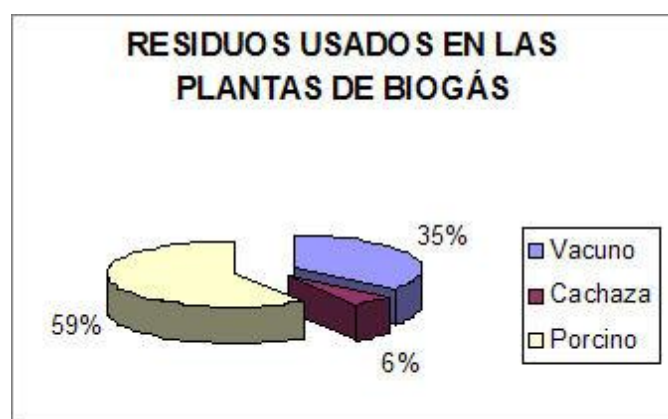


Fig. 11: Relación en el uso de las biomásas más empleadas en la producción de biogás.

Arranque, operación y mantenimiento de los biodigestores de cúpula fija.

Arranque.

Este es el momento más importante para lograr un buen funcionamiento del biodigestor, si este no es correcto no se podrá lograr un funcionamiento adecuado y ha ocasionado en muchos casos la pérdida de interés por parte de los beneficiarios en el uso de estos sistemas. El arranque del biodigestor se realiza con el material de carga disponible; estiércol porcino y/o vacuno (que son los más frecuentes y de mayor disponibilidad en las zonas rurales de nuestro país), el cual debe inocularse o

introducirse en el sistema con una mezcla estiércol-agua adecuada para lograr una rápida estabilización del proceso de digestión y de producción de biogás.

Si la prueba de presión fue satisfactoria, se inicia el arranque del sistema operando mezclas de estiércol fresco-agua en proporciones iguales preferiblemente o utilizando agua como máximo hasta tres veces la cantidad de estiércol (1:3). En lugares donde no es factible racionalizar el agua se recomienda recolectar el estiércol fresco manualmente antes de efectuar el lavado y depositarlo en el registro de carga o cerca del canal de lavado y diluir con el agua necesaria. Este manejo permite disminuir el consumo de agua.

Se recomienda que la primera carga, o carga inicial, se realice de forma tal que la mezcla estiércol/agua llene el interior del biodigestor hasta salir por la abertura de la ventana de compensación, la cual comunica el cuerpo central de biodigestor con la laguna de compensación. Este procedimiento garantiza la existencia de un sistema anaerobio (sin aire) dentro del biodigestor. Este aspecto es un requisito indispensable para la producción de biogás, pues las bacterias metanogénicas (formadoras de metano) son anaerobias estrictas, es decir, no funcionan y mueren en presencia de aire.

Para lograr esto, si el biodigestor es muy grande se recomienda comenzar la colección de excretas frescas varios días antes de comenzar la carga inicial y almacenarlas en tanques debidamente tapados diluidas en agua para ir creando el sistema anaerobio donde comenzarán a trabajar las bacterias, comenzando por las hidrolíticas (son las que facilitan la reacción de las macromoléculas presentes en las excretas con el agua, a fin de convertirlas en moléculas más pequeñas, fundamentalmente de carbohidratos, las cuales son más fáciles de transformar en los ácidos oxigenados precursores de la formación del metano), seguidamente continúa el proceso de acidogénesis, donde las moléculas de menor masa se transforman en los ácidos orgánicos de cadena larga (propiónico, butírico), compuestos volátiles como alcoholes y compuestos aromáticos como los benzoatos. A continuación ocurre la fase de acetogénesis, en la cual por la acción de las bacterias acetogénicas los compuestos anteriores se transforman fundamentalmente en ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno, los que posteriormente son convertidos por las bacterias metanogénicas en metano, dióxido de carbono y otros gases componentes del biogás.

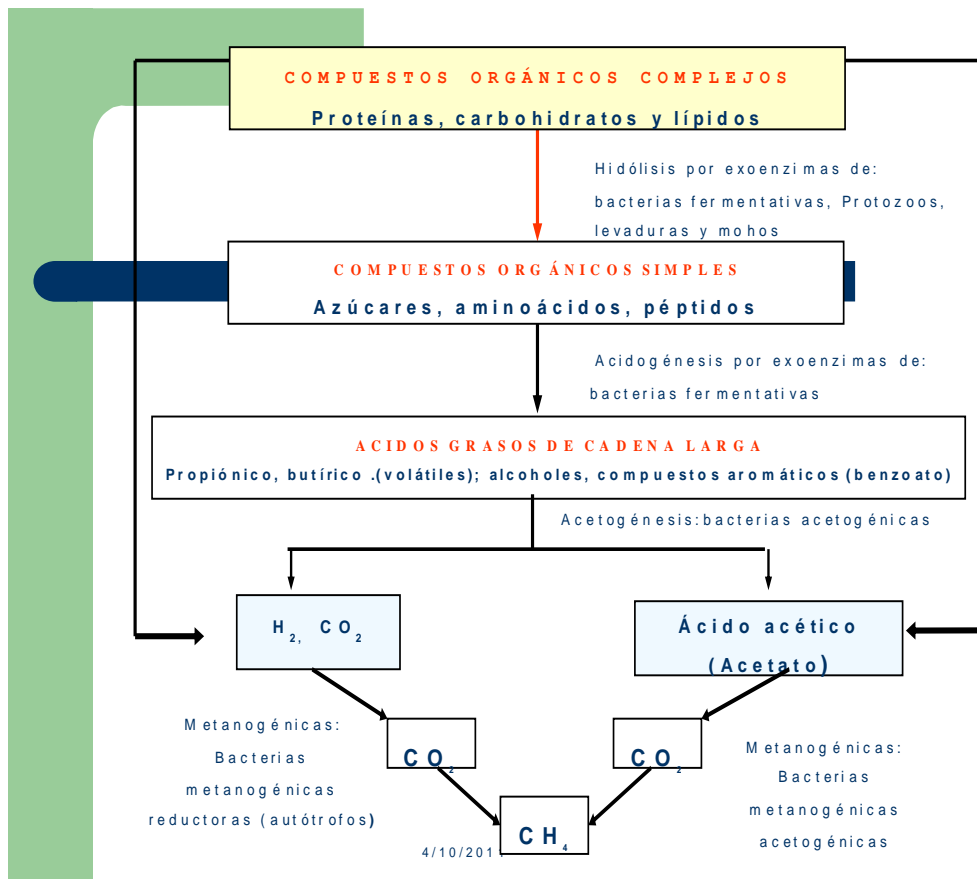


Fig.12: Etapas de la Digestión Anaerobia.

Operación.

Para que haya un crecimiento de las bacterias metanogénicas y producción continua de biogás se requiere cargar el biodigestor diariamente, pues esto garantiza el establecimiento de un equilibrio en el proceso, téngase en cuenta que la producción de biogás es un proceso en el que intervienen organismos vivos (bacterias), las cuales durante su proceso de alimentación es que transforman la materia orgánica en biogás y la estabilizan hasta el punto de convertirlos en un excelente bioabono, si se carga el biodigestor de forma regular, es decir, con una periodicidad establecida ya sea una vez al día o dos veces, debe continuarse este ritmo de alimentación, pues a la hora en que se acostumbra a realizar la carga las bacterias estarán ávidas por la llegada de su alimento y esto garantiza un funcionamiento adecuado y con una mayor eficiencia. Si por el contrario el sistema de alimentación no tiene la periodicidad establecida esto crea desequilibrio en el sistema e incluso puede llegar a provocar la muerte de las bacterias por falta de alimentación, lo que trae como consecuencia un funcionamiento deficiente del biodigestor.

Para evitar que el material inerte como arena, piedras, y otros, entren al biodigestor es necesario que el fondo del registro de carga tenga una pendiente negativa hacia el sentido de llenado del biodigestor, o en su defecto construir un desarenador antes de este, el cual debe limpiarse periódicamente.

Durante la carga debe revisarse que esté abierta la tubería que conduce la mezcla de estiércol-agua hacia el biodigestor, una vez terminada la operación de carga taponee la tubería de alimentación para evitar que entren materiales diferentes o agua de lluvia al

sistema. Verifique que la tubería de conducción de biogás no contenga agua ya que ella impide el paso de este y su utilización. Si esto se presenta revise la trampa de agua.

Si el biodigestor posee agitador manual este debe ser accionado alrededor de 20 ó 30 minutos después de haber sido realizado el proceso de carga, para dar tiempo a que por acción de las presiones interiores se desplace hacia la laguna de compensación el material digerido al entrar el material fresco de la carga. Pasado este tiempo se realiza la agitación durante 5 ó 10 minutos para favorecer la formación de turbulencia en el interior del biodigestor con lo cual se logrará una mayor superficie de contacto entre la biomasa y las bacterias, lo que facilitará la interacción entre estas y favorecerá la eficiencia del biodigestor.

No permita que crezca maleza alrededor del biodigestor.

Mantenimiento.

Un biodigestor requiere de mantenimiento general cuando se presenten problemas en el funcionamiento del mismo. Estos problemas se manifiestan cuando:

⇒ **Se dificulta la entrada del material de carga debido a la acumulación de sólidos en la tubería de carga o dentro del biodigestor.**

Esto provoca baja producción de biogás; para resolver esta situación se debe retirar el sello de arcilla de la tapa; retirar la tapa y dejar que el biogás salga ¡NO FUMAR!; si se dispone de una motobomba evacuar los sólidos del interior del biodigestor o sino utilizar baldes. Tener en cuenta antes de entrar al biodigestor que esté bien ventilado: de lo contrario se puede producir asfixia, recuerde que dentro no hay oxígeno razón por la cual se insiste en la necesidad de una correcta ventilación antes de que una persona entre dentro del mismo. Descargar totalmente los sólidos y sedimentos del fondo y limpiar la laguna de compensación. De ser posible almacenar una parte del lodo, el cual se podrá utilizar nuevamente como inóculo para reiniciar el arranque del biodigestor.

⇒ **Existe escape de biogás por la cúpula, el cuello o las zonas de unión entre estas dos partes o entre el cuerpo cilíndrico del biodigestor y la cúpula.**

Esta situación se determina por una pérdida de la presión del biogás, la que se puede apreciar en un deficiente funcionamiento de los equipos que lo utilizan, como fogones, motores de combustión interna, calentadores, etc.

Para determinar la presencia del escape se procede a preparar una mezcla de agua con jabón o detergente y se le aplica sobre la superficie de la cúpula, el cilindro del cuello y la tapa. La zona por donde se esté escapando el biogás se determina por la presencia de burbujas. Seguidamente hay que descargar el biodigestor con un procedimiento similar al descrito anteriormente y proceder a la limpieza interior de la zona por la que se determinó la existencia del escape del biogás. Se realiza el levantamiento del estuque en dicha zona, se pica con el gabilán de la piqueta y se le vuelve a poner el estuque (mezcla de 30% de cal y 70% de cemento pasada por un tamiz de 3mm y con consistencia pastosa) humedeciendo bien la zona donde se va a aplicar y el área circundante. Para lograr una buena adhesión tanto a la zona afectada como a los alrededores se debe antes de comenzar a aplicar el estuque espolvorear cemento puro en la zona, el cual contribuye a la unión entre los dos cuerpos, es decir entre la superficie a estucar y el estuque. Puede realizarse este sellaje también mediante el empleo de otros aditamentos

que contribuyan a la impermeabilización, siempre teniendo presente que sean sustancias que no dejen ningún residuo de carácter químico, pues esto puede afectar a las bacterias y provocar que el biodigestor no funcione.

⇒ **El biodigestor no produce biogás a pesar de ser alimentado de forma regular.**

Este problema puede estar determinado por la presencia dentro del biodigestor de sustancias que inhiben o impiden el proceso de desarrollo de las bacterias. Este fenómeno se conoce como “envenenamiento del biodigestor” y generalmente se debe a descuidos que ocasionan la entrada de sustancias nocivas entre las que se pueden señalar hidrocarburos (derivados del petróleo), antibióticos empleados en el tratamiento de los animales o personas, así como otras sustancias que pueden afectar determinados parámetros como el pH del medio, entre las que se pueden señalar la cal, residuos de ácidos inorgánicos como el ácido sulfúrico (ácido de acumuladores), el ácido clorhídrico (sulfumán) y otros. Se debe tener cuidado también para que no entre en el biodigestor residuos de fertilizantes inorgánicos que puedan incrementar la presencia de cationes metálicos cuyas concentraciones sean perjudiciales para los microorganismos e inhiban el proceso de digestión anaerobia.

⇒ **Baja producción de biogás y fetidez del biogás y los lodos finales.**

Generalmente este problema es debido a deficiencias en el sistema de alimentación del biodigestor, fundamentalmente a sobrealimentación, es decir, la cantidad de estiércol con que se alimenta el sistema es superior a la capacidad de carga del mismo. Esto ocurre cuando el biodigestor no se diseña adecuadamente y es más pequeño de lo que se necesita para asimilar la cantidad de residuales generados. Cuando este fenómeno se manifiesta debe dejarse de alimentar el biodigestor por varios días y remover con un agitador el contenido del mismo para evitar la formación de costras. Si pasados varios días aún persiste el problema hay que evacuar el contenido total del biodigestor de la forma explicada anteriormente, limpiarlo bien y volverlo a cargar. Debe también revisarse que no existan fisuras en la estructura constructiva, pues la entrada de aire dentro del sistema provoca la destrucción del sistema anaerobio y el proceso ocurre por descomposición aerobia, la cual produce fetidez (olores desagradables). La fetidez también está relacionada con la presencia en el biogás de sulfuro de hidrógeno (H_2S) el cual debe ser eliminado mediante el filtro correspondiente pues el mismo tiene efecto corrosivo sobre los componentes metálicos y es ligeramente tóxico. Este último caso ocurre si el filtro desulfhidrizador no está bien diseñado o se ha agotado, en este caso hay que realizar el cambio del filtro o de su material filtrante. En dependencia de la composición del alimento de los animales, a partir de los cuales se obtienen las excretas, se favorece el aumento en la presencia del sulfuro de hidrógeno en el biogás.

⇒ **El biodigestor permanece parado por un tiempo relativamente prolongado.**

Esto puede ocurrir cuando por diversas causas le falta la alimentación al sistema, es decir, no se dispone de la cantidad requerida de residuales para que se mantenga un funcionamiento adecuado, lo cual puede deberse a varios factores entre los que se encuentran; que el sistema de cría de animales (cerdos, cabras, ovejas, etc) presente problemas debidos a enfermedades que afecten la masa animal, problemas económicos del productor, roturas en el sistema de consumo, u otros. En estos casos el contenido interior del biodigestor, después de haberse transformado por la acción de las bacterias se transforma en un material inadecuado para la alimentación de estas, lo que provoca que mueran. Este material tiende a endurecerse y es necesario proceder a la evacuación

total del contenido y limpiar bien el sistema. Para realizar esta acción se recomienda agregar una determinada proporción de agua para lograr el ablandamiento de estos lodos y sacarlos por las vías recomendadas en el primer aspecto abordado en el presente material, referido al mantenimiento y teniendo en cuenta las recomendaciones dadas al respecto.

Es bueno señalar que el funcionamiento estable, con una carga balanceada de acuerdo al tamaño del biodigestor y con la regularidad requerida, así como una correcta evacuación de los lodos sedimentables garantiza la eficiencia en el funcionamiento del biodigestor y es la mejor forma de garantizar un mantenimiento estable, pues el equilibrio que se logra en el ecosistema bacteriano interno es la condición indispensable para que el sistema funciones de forma estable y prácticamente sin necesidad de realizar ninguna acción de mantenimiento extra.

Funcionamiento físico del biodigestor de cúpula fija.

El funcionamiento desde el punto de vista físico del biodigestor de cúpula fija está estrechamente relacionado con las presiones hidrostáticas creadas en su interior debidas al equilibrio trifásico (gas-líquido-sólido) que se establece dentro del mismo producto a la acumulación del biogás generado en el domo o cúpula superior, el agua con que se diluye la excreta y el material sólido de estas dentro del cuerpo del biodigestor.

El residual utilizado como materia prima para la generación del biogás, previamente mezclado con agua, en las proporciones adecuadas en correspondencia con el tipo de que se trate (ver tabla 1), se adiciona por el registro de carga y cae dentro del biodigestor por gravedad. Este residual al ponerse en contacto con las bacterias presentes en el sistema anaerobio comienza el proceso de digestión, pasando por cada una de las etapas del proceso de digestión anaerobia, como resultado de este proceso bioquímico esta biomasa inicial se descompone y desprende determinados productos gaseosos entre los que se encuentran, fundamentalmente el metano (CH_4), el dióxido de carbono (CO_2) y otros gases en menor escala. Esta mezcla de gases, que es lo que se conoce como biogás, ejerce una presión sobre las paredes de la cúpula y la superficie formada por el resto de la biomasa (sólido-líquida) que aún se encuentra en digestión y los residuos que ya se han digerido, estos últimos, es decir los residuos ya digeridos, al desprender el biogás pierden masa (peso) y se hacen más ligeros, razón por la que se van a encontrar en la parte superior del biodigestor y son desplazados por la presión ejercida por el volumen de biogás, saliendo por la ventana de compensación que une al biodigestor con la laguna de compensación.

De esta forma el material ya digerido es expulsado hacia la laguna de compensación donde puede recogerse ya como abono orgánico de un buen poder nutritivo para mejorar las condiciones de los suelos donde se realizan los cultivos. Este proceso ocasiona que dentro del biodigestor exista una regulación de la presión del biogás determinada por la altura de la columna líquida, que no permite que pueda ocurrir una explosión, precisamente por esto es que esta parte recibe el nombre de laguna de compensación, porque compensa las presiones interiores con la presión exterior.

El funcionamiento antes explicado justifica que estos biodigestores funcionen de forma discontinua, es decir cada vez que se aumenta la cantidad de materia orgánica dentro se genera más biogás y la presión de este hace salir el material ya digerido, proceso que se repite cada vez que se realiza la alimentación del sistema, contribuyendo así al balance de carga.

Conclusiones.

El uso de fuentes renovables de energía, entre ellas la biomasa, constituye un imperativo del mundo actual, pues de continuar el uso y abuso de las fuentes no renovables de energía el deterioro ambiental será cada vez mayor y llegará a ser irreversible, con peligro para la vida en sus diferentes manifestaciones. El empleo de los biodigestores constituye una alternativa viable para la obtención de biogás a partir de residuales sólidos y líquidos (biomasa) de la producción industrial, agropecuaria e incluso de los desechos urbanos cuya disposición segura cada vez es más complicada. Para resolver el problema energético, de recuperación de la fertilidad de los suelos y el tratamiento de las aguas residuales de alta carga orgánica, el empleo de los biodigestores de primera generación es una buena opción, comprobada al nivel de pequeños productores y comunidades rurales. Por lo que su empleo es un aporte directo a las estrategias de desarrollo local sostenible. El funcionamiento eficiente de los biodigestores depende, entre otros factores, de su correcto diseño, operación y mantenimiento. Para esto se debe tener en cuenta los aspectos operacionales, así como los principios bioquímicos de su funcionamiento. Siguiendo las recomendaciones dadas en este documento, basadas en las experiencias prácticas obtenidas durante años de trabajo con este tipo de biodigestores, puede lograrse un uso adecuado de los mismos con su correspondiente repercusión positiva en la economía y el bienestar de la familia rural y suburbana, así como del medio ambiente en general.

Bibliografía.

- Anderson, G. K. *et al.* (1982): Identification and control of inhibition in the Anaerobic treatment of industrial wastewaters. *Process Biochemistry*. July / august. p. 28 – 32.
- Bermúdez, R. C. (1995): Aprovechamiento biotecnológico de residuos por Fermentación anaerobia en la obtención de biogás y otros metabolitos. Curso de postgrado. ESPOCH. Riomamba. Ecuador.
- Frostell, B. (1988): Process control in anaerobic treatment. *Water Science Technology*. Vol. 17. Tampere. p. 173 – 189.
- (<http://www.textos cientificos.com/energía>).
- Iannotti, E. L. *et al.* (1984): effects of ammonia, volatile acids, pH, and sodium on Growth bacteria isolated from swine manure digester. *Developments in Industrial Microbiology*, vol. 25. p. 514 – 517.
- López, C. *et al.* (2002): Introducción al conocimiento del Medio Ambiente. Universidad para todos. p. 3 – 31.
- Lugones López, B. (2003): Análisis de biodigestores. *Revista Energía y Tú*. No. 22, abril-junio 2003., p. 12 -15.
- Sahm, H. (1998): Anaerobic wastewater treatment. Seminario de Tratamiento Anaeróbico de Aguas Residuales. La Habana.

- Sánchez, J. V. (2003): Producción de biogás a partir de residuales sólidos de origen animal en comunidades locales de La Ciénaga de Zapata. Ponencia presentada en el Evento Internacional "Humedales 2003". Matanzas, Cuba.
- Sánchez, J. V. (2003): Biodigestores anaerobios de pequeño formato en comunidades locales de la Ciénaga de Zapata. Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Máster en Ciencias en Gestión y Conservación de los Recursos Naturales. Universidad de Matanzas, Cuba.
- Sánchez, J. V.; Pavon, A (2009). El biogás. Resultados y potencialidades como fuente de energía y bioabono en el sector cooperativo y campesino de la provincia de Matanzas CD de Monografías Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
- Sánchez, J. V.; Savran, V; Frunze, S; Lantigua, A; García, J. (2011). Introducción a la producción de biogás (3^{era} edición). Folleto teórico-práctico publicado por la universidad de Madrid y el centro de reflexión y diálogo. 47p. ISSN1608-1854
- Sánchez, J. V.; González, A. (2011). Recuperación de los suelos y disminución de la contaminación ambiental a través de los biodigestores en el sector campesino y cooperativo de la provincia de Matanzas. *Ponencia publicada en formato digital en las memorias del 1^{er} Taller internacional del movimiento agroecológico y agricultura sostenible*. sep 2011
- Suárez, J. y Beatón, P. (2007). Estado y perspectivas de las energías renovables en Cuba. Tecnología Química
- Suárez, J.; Martín, G. (2010). Producción de agroenergía a partir de biomasa en sistemas agroforestales integrados: una alternativa para lograr la seguridad alimentaria y la protección ambiental. *Pastos y Forrajes*, v. 33 n. 3 12 p.
- Suárez, J; Martín, J; Sotolongo, A; Rodríguez, E; Savran, V; Cepero, L; Funes, M; Rivero, J; Blanco, L; Machado, D; Martín, C; García, A. (2011). Experiencias del proyecto BIOMAS-CUBA. Alternativas energéticas a partir de la biomasa en el medio rural cubano *Pastos y forrajes*, vol. 34, no. 2, p. 167-178.