

Obtención de biogás y biol como fuente de energía renovable de biodigestores experimentales en la UTC extensión La Maná

Obtaining biogas and biol as a source of renewable energy from experimental biodigesters in the La Maná extension at the UTC

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10001943>

AUTORES: William Armando Hidalgo Osorio^{1*}

Paco Jovanni Vasquez Carrera²

Johnatan Israel Corrales Bonilla³

Monserrath Carolina Vásquez Rodríguez⁴

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: william.hidalgo7885@utc.edu.ec

Fecha de recepción: 10 / 07 / 2023

Fecha de aceptación: 05 / 09 / 2023

RESUMEN

El presente proyecto tiene dos objetivos principales. El primero de ellos, diseñar, construir y poner en funcionamiento un biodigestor tubular de bolsa; y el segundo, con fines didácticos, dejar constancia de todo el proceso de construcción y generación de BIOGÁS, para que los estudiantes de la Universidad Técnica De Cotopaxi Extensión La Maná, implementen el biodigestor y lo tomen como punto de partida para futuras investigaciones. Un requisito imprescindible, era la construcción del mismo con materiales locales y utilizando, los

^{1*} 0000-0001-6783-0947, Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná – Ecuador, william.hidalgo7885@utc.edu.ec

² 0000-0002-2434-0806, Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná – Ecuador, paco.vasquez@utc.edu.ec

³ 0000-0003-0843-8704, Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná – Ecuador, johnatan.corrales5518@utc.edu.ec

⁴ 0009-0001-6306-5069, Universidad Técnica de Ambato – Ecuador, mvasquez9366@uta.edu.ec

recursos tanto técnicos como económicos, con los que contaría un estudiante de la UTC extensión La Maná. El propósito obtener biogás y utilizarla como fuente de energía a través de esta tecnología. De este modo, se desarrolló y se puso en funcionamiento un biodigestor, que requiere una baja inversión de capital, con materiales adquiridos en la región, sin complejidad técnica y que el beneficiario pueda reproducir, controlar y mantener, haciéndola parte de su vida cotidiana. Además del proceso constructivo, se llevaron a cabo, diferentes experimentos y toma de datos, en los laboratorios de la Universidad Técnica De Cotopaxi Extensión La Maná y en las inmediaciones del biodigestor, con el objetivo de conseguir la máxima eficiencia en la etapa inicial de producción de gas y de aportar datos empíricos recogidos durante el proceso de digestión. A demás del aprovechamiento del potencial energético de la materia orgánica para obtener biogás a través de un biodigestor se obtiene BIOL como desecho el cual es un fertilizante que aportara en el desarrollo agrícola del sector.

Palabras claves: Eficiencia, Potencial Energético, Fines didácticos.

ABSTRACT

This project has two main objectives. The first one, to design, build and put into operation a tubular bag BIO DIGESTER; and the second, for educational purposes, to record the entire process of construction and generation of BIOGAS, so that the students of the Technical University of Cotopaxi Extension La Maná, implement the biodigester and take it as a starting point for future research. An essential requirement was the construction of the same with local materials and using both technical and economic resources, with which a student of the UTC extension La Maná would have. The purpose is to obtain biogas and use it as an energy source through this technology. In this way, a biodigester was developed and put into operation, which requires a low capital investment, with materials acquired in the region, without technical complexity and that the beneficiary can reproduce, control and maintain, making it part of their daily life. In addition to the construction process, different experiments and data collection were carried out in the laboratories of the Technical University of Cotopaxi La Maná Extension and in the vicinity of the biodigester, with the aim of achieving maximum efficiency in the initial production stage. of gas and to contribute empirical data collected during the digestion process. In addition to taking advantage of the energy potential

of organic matter to obtain biogas through a biodigester, biol is obtained as waste, which is a fertilizer that will contribute to the agricultural development of the sector.

Keywords: Efficiency, Energy Potential, Educational purposes.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la ganadería del cantón La Maná representa una parte importante de la producción agroproductiva y económica del cantón, la situación actual en lo que se refiere al cambio climático y la contaminación por residuos sólidos orgánicos, nos obliga a buscar alternativas para la optimización de los residuos, de tal manera que se evite la producción de gases contaminantes que aumente el efecto invernadero, se reduzca el volumen de basura en los rellenos sanitarios y disminuya la contaminación de aguas.

Por lo que los residuos sólidos orgánicos son un gran problema ya que éstos son dispuestos en rellenos sanitarios los cuáles rompen el ciclo natural de descomposición porque contaminan las fuentes de agua subterránea debido al lavado del suelo por la filtración de agua y también porque favorece la generación de microorganismos destructores, en esta investigación se da a conocer la posibilidad y beneficios del biodigester como generador de metano a partir de estiércol de ganado porcino, por lo que se implementó biodigestores en Asociaciones en donde se realizó todo el análisis ambiental y económico del proyecto obteniendo biogás y biol producto de la degradación de la materia orgánica de los animales. En la parroquia de Guasaganda y la parroquia El Carmen del cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi se realiza la implementación de dos biodigestores específicamente en el colegio Jatari Unancha y la asociación ASOPROMAGRO respectivamente en donde produce diariamente gran cantidad de residuos, los cuales no reciben los tratamientos adecuados y no cuentan cuenta con un servicio de recolección, barrido, transporte y una disposición final en rellenos sanitarios, los que han servido como un mecanismo para reducir el impacto ambiental.

Es necesario realizar un análisis de los problemas que enfrentan el sector rural y como son: Escasos recursos económicos, la falta de formación de emprendedores como también la no inversión en investigación en el sector rural, hace necesario hoy más que nunca la interrelación universidad sociedad, es por eso que el trabajo está enfocado al procesamiento

de heces de los animales de granja implementando alternativas que permitan la obtención de nuevas energías.

La Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná la carrera de Electromecánica conjuntamente con sus estudiantes se ha preocupado por vincularse con los sectores más vulnerables del cantón, por medio de proyectos de vinculación que conlleven una acción compartida entre estudiantes docentes y beneficiarios, aunque siempre se ha evidenciado la falta de apoyo económico y financiero para desarrollar la actividad de mejor manera. Para lo cual la universidad contribuyo con los gastos y desarrollo del proyecto.

Este trabajo está orientado al aprovechamiento de los desechos orgánicos del ganado porcino disminuyendo la contaminación ambiental y proporcionando comodidad y bienestar a los moradores en donde esta implementado el proyecto, mostrando las aplicaciones que puede dar al biogás y biol provenientes del biodigestor, el diseño y construcción de un biodigestor de tipo casero muestran las múltiples aplicaciones que se le pueden dar a los combustibles obtenidos a través del uso de materia prima de bajo costo.

METODOLOGÍA

Construcción de los biodigestores

La construcción de los biodigestores inicia con la socialización del proyecto de vinculación con la sociedad de la carrera de Electromecánica con los sectores agroproductivos del cantón La Maná, en los cuales se da a conocer los beneficios de contar con un biodigestor y la disposición de los desechos orgánicos que generan los animales en la utilización del mencionado biodigestor, con el apoyo de los estudiantes que realizan actividades de servicio a la comunidad se construyó biodigestores caseros alimentándolos con la materia orgánica se demostró la efectividad del biodigestor obteniendo biogás en poco tiempo evidenciando la no presencia de insectos y mal olor, esto fue un aporte para socializar el proyecto a los sectores agroproductivos y contar con el apoyo de ellos para desarrollar el proyecto.

El desarrollo mismo de la implementación de los biodigestores fue en realizar mediciones constantes de los parámetros ambientales y la cantidad de materia orgánica para determinar el diseño del biodigestor, la toma de temperatura máxima/mínima, la presión atmosférica y el porcentaje de humedad en el sector durante 30 días seguidos.

Temperatura °C promedio	Presión atmosférica hPa promedio	Humedad relativa % promedio
17°C	1013-1015 hPa	83%

Tabla 1. Parámetros atmosféricos del sector

Fuente: Investigadores UTC-LM-ASC-EL

La cantidad de materia orgánica generada por el ganado vacuno y porcino, realizado el cálculo para determinar de la cantidad de agua que se necesita para la mezcla.

Volumen de materia orgánica y agua según el número de ganado				
Cantidad de Ganado	Peso Unitario de Materia Orgánica (Kg) (Estiércol)	Cantidad Total de Materia Orgánica (Kg) (Estiércol)	Cantidad Unitaria de Agua (Lt)	Cantidad Total de Agua (Lt)
3	26,5	79,5	53	159
5	26,5	132,5	53	265
7	26,5	185,5	53	371
9	26,5	238,5	53	477

Tabla 2. Volumen de materia orgánica y agua según el número de ganado

Fuente: Investigadores UTC-LM-ASC-EL

Volumen de materia orgánica y agua según número de chanchos				
Cantidad de Ganado	Peso Unitario de Materia Orgánica (Kg) (Estiércol)	Cantidad Total de Materia Orgánica (Kg) (Estiércol)	Cantidad Unitaria de Agua (Lt)	Cantidad Total de Agua (Lt)
3	2,3	6,9	4,6	13,8

4	2,3	9,2	4,6	18,4
5	2,3	11,5	4,6	23
6	2,3	13,8	4,6	27,6
7	2,3	16,1	4,6	32,2
8	2,3	18,4	4,6	36,8
9	2,3	20,7	4,6	41,4
10	2,3	23	4,6	46

Tabla 3. Volumen de materia orgánica y agua según el número de cerdos

Fuente: Investigadores UTC-LM-ASC-EL

Identificado los parámetros, volumen de materia orgánica y cantidad de agua se realizó el diseño del biodigestor definiendo con medias reales en un software de diseño (AUTOCAD), estableciendo los materiales a utilizar en la construcción e implementación del biodigestor.

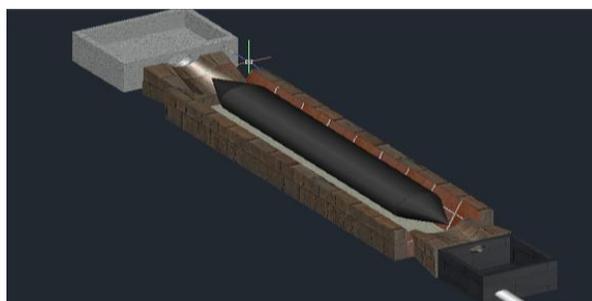


Figura 1. Diseño del biodigestor en AUTOCAD

Sensibilizar e integrar a los sectores agros productivos del cantón La Maná

Debido a la creciente importancia del uso sostenible de los recursos naturales en los sistemas agrícolas, hoy se aprecia el papel de los biodigestores en una perspectiva mucho más amplia y, específicamente, por su aplicación potencial para el reciclaje de los nutrientes de las plantas. Esto puede contribuir en la reducción de la dependencia de los fertilizantes sintéticos y hacer más fácil el cultivar orgánicamente.

Los Biodigestores son una tecnología que se ha desarrollado hace algunos años, pero es desconocida para el común de la gente, es importante concientizar a los sectores agro productivos que el consumo de recursos no renovables es un tema preocupante en nuestro país, debido al alto nivel de contaminación e impacto ambiental que esto genera. Pero

actualmente ha optado por el diseño y construcción de tecnologías amigables con el medio ambiente como son los Biodigestores de los cuales se puede obtener biogás (gas metano) y biol (fertilizante), mediante el uso de residuos orgánicos como el estiércol de ganado porcino. Existen muchas ventajas y beneficios que se deben dar a conocer a los sectores agro productivos, con esto será posible el desarrollo de los proyectos.

Al estar estrechamente integrado al sistema agrícola-ganadero un biodigestor puede:

- Ser una fuente renovable de combustible para cocinar y para la iluminación, reduciendo la necesidad de leña y el trabajo que implica recogerla. Además, cocinar con biogás deja los utensilios de cocina mucho más limpios y la ausencia de humo mejora la salud de las personas que pasan gran parte de su tiempo en la cocina y que a menudo sufren de problemas respiratorios e irritaciones de los ojos;
- Mejorar la calidad del estiércol que alimenta al biodigestor, lo que produce un fertilizante de alta calidad para los cultivos, como también para las plantas acuáticas o los peces cultivados en estanques.
- Mejorar las condiciones sanitarias de la granja y reducir la propagación de parásitos y bacterias potencialmente dañinas, al eliminar y descontaminar el estiércol y otros desechos orgánicos.
- Mejorar el medio ambiente al reducir la dependencia de la leña, resultando en un índice menor de deforestación. Si el biogás es utilizado, también se reduce la emisión de metano (un gas de invernadero que contribuye al calentamiento global) a la atmósfera. (Preston, 2009).

Mediante la implementación de prototipos (Biodigestores caseros) y sistemas de mediana escala como los Biodigestores puestos en funcionamiento en las asociaciones, se ha logrado sensibilizar a una cantidad de 30 personas, las cuales han constatado la eficacia mediante las pruebas de combustión del biogás y el uso de biol en los cultivos como fertilizante, lo que ha permitido la integración entre los diferentes sectores que participan en estos proyectos favoreciendo a la economía de las familias y del cantón.

La Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná la carrera de Electromecánica junto con sus estudiantes y docentes cumplen con la tarea de comunicar, integrar y concientizar a los sectores agro productivos el proceso de ejecución de cada uno de los proyectos a

realizarse mediante reuniones donde se puede verificar el interés de cada uno de los beneficiarios, lo que permite y emotiva a buscar recursos mediante autogestiones para seguir fomentando el desarrollo de los sectores más vulnerables de nuestro cantón.

En trabajo mancomunado permite capacitar a más personas e instituciones (Asociaciones, GADs, y similares) en el diseño, instalación y gestión de proyectos de biodigestores familiares, para diseminar la tecnología entre las familias rurales. Esto permite que el conocimiento adquirido sobre la tecnología de biodigestores se transmita entre personas, a partir de esto decidan si quieren incorporarlo a su sistema productivo. Comenzando con los primeros proyectos gestionados por las propias instituciones y asociaciones de productores.



Figura 2. Reunión para la socialización del proyecto con los beneficiarios

El éxito de un Biodigestor reside en que el usuario final logre mantenerlo y satisfaga sus necesidades de comodidad y reconocimiento. Hay que explicar los requerimientos para operar un biodigestor, como acceso al agua y el suficiente estiércol en las cercanías del hogar. Los beneficios de los biodigestores se enfocan en dos direcciones: el uso del biogás para cocinar y la aplicación del fertilizante líquido en el campo.

Hay que hacer énfasis en estos dos productos, por las implicaciones que tienen para la disminución de enfermedades respiratorias y oculares, la baja del uso y búsqueda de leña, menos malos olores, aumento de la productividad del campo en donde es aplicado el fertilizante líquido, y menos moscas, entre otros.

Biodigestor como productor de combustible

A los biodigestores se les conoce principalmente por la producción de biogás. Este acceso a una fuente de energía que produce el propio productor amplía las posibilidades de uso y de mejora de sus procesos, que quizás no consideraría en el caso de tener que incrementar su

factura energética para las mismas actividades, de este modo los biodigestores, mediante la producción de biogás, aumentan la soberanía energética del productor pudiendo ampliar los usos energéticos en un sector.

Biodigestor como productor de fertilizante

De otro lado está el uso del biol, un producto invisibilizado anteriormente, pero que en la actualidad está tomando gran importancia. El uso del biol en los propios cultivos significa realizar un reciclaje de nutrientes que hacen al productor más resiliente e independiente de los productos agroquímicos externos a las plantaciones. Su utilización permite que el productor pueda fertilizar sus campos, ahorrando costes de compra de fertilizantes sintéticos, y dándole un valor agregado a su producción por ser un manejo orgánico. Se da el caso que productores en los que el uso del biol les ha permitido aproximarse a una práctica agroecológica de producción, haciéndose más sostenibles y resilientes. De este modo, los biodigestores, mediante el uso de biol, ayudan a aumentar la independencia del productor respecto a insumos externos, aportándole un valor agregado a su cosecha y al suelo.

Desarrollar el proceso de conversión de energía mediante modelos y prototipos de un sistema electromecánico (biodigestor).

La mayor parte del trabajo de desarrollo de los biodigestores ha sido enfocada desde el punto de vista de la ingeniería, con el fin de maximizar la producción de gas y su eficiencia al mejorar el diseño y la construcción del biodigestor. El biodigestor de manga de lámina de polietileno es una tecnología, que permite a los agricultores de pequeña escala producir gas, en las instalaciones de los sectores agro productivos e instituciones es importante que dispongan de una fuente de combustible para cocinar, calefaccionar e iluminar. Así como el uso de fertilizantes para los cultivos, los cuales son posibles mediante la conversión de energía.

El biogás proviene de una generación anaeróbica de metano, anhídrido carbónico, ácido sulfhídrico y siloxanos, a partir de la descomposición de desechos orgánicos. Aproximadamente está compuesto de metano (CH₄) 60%, anhídrido carbónico (CO₂) 35%, de vapor de agua 4%, H₂S 1% y trazas de otros hidrocarburos. Para su correcto uso deben ser eliminados: el CO₂ por no ser combustible y de carácter tóxico, así como el H₂S, que resulta corrosivo para los metales y tóxico para los humanos. Por lo dicho, es importante

purificar el biogás, tanto por la salud de las personas como por la eficiencia del generador. El metano así obtenido es un combustible, es barato y no contaminante. El valor energético de 1 m³ de biogás con un 60% de metano equivale a 0,7 litros de gasolina o 2,4 kW-hora de electricidad o 0,6 m³ de gas natural o 1,3 kg de madera, existen algunos métodos para obtener biogás como el modelo hindú, un modelo chino que se derivó del hindú, un modelo cubano, un modelo reciente que consta de dos membranas de geo-plástico y el biodigestor tubular. (Salazar, 2012).

La siguiente clasificación es según el periodo de alimentación:

Sistema discontinuo, conocidos también como de carga fija ya que se carga sólo una vez en forma total y luego se cierra herméticamente por unos 20 o 50 días, donde se descarga después que deje de producir gas. El modelo tipo Batch es el más conocido de este sistema, sistema semicontinuo, son pequeños o de mediana escala, de uso urbano o rural. Presenta buena eficiencia de producción de biogás diaria. Los modelos que destacan en este sistema son el tipo hindú, el tipo chino y otro de menor costo del tipo manga de polietileno.

Sistema continuo, tienen flujo constante de biomasa activa en su interior. Son grandes sistemas sofisticados, donde emplean equipos comerciales para alimentarlos, darles calefacción, agitación y control.



Figura 3. Modelos de biodigestores. De izquierda a derecha se tiene el modelo chino, modelo manga de geomembrana y una planta de biometano

Fuente: (Salazar, 2012).

Biodigestor tubular

Método para generar biogás en parcelas familiares

Generalmente consiste en una manga de polietileno de 1,2 m de diámetro por 6 m de largo. Se puede emplear en sitios planos o de superficie complicada, tanto en sectores urbanos o

rurales. Debe incorporarse un depósito de gas cerca de la cocina porque la presión del biodigestor es baja y hay pérdidas entre este y el punto de consumo. Este depósito también es de manga de polietileno doble, se puede incrementar su presión mediante una faja ceñida o añadiendo carga sobre la parte superior. Se recomienda montar la manga cerca del corral de los animales.

Por medio de un canal impermeabilizado escurrir con agua los desechos, mediante la gravedad y una pendiente de unos 50 introducir el afluyente a la manga con una tubería de PVC diámetro mínimo 150 mm y 1 m de longitud. Se puede hacer una estimación del volumen del biodigestor calculando a partir que: 10 cerdos de engorda producen un volumen líquido de 4 m³, siendo esta cifra el 80% de la capacidad total, lo que significa una manga efectiva de 10 m de longitud, pero debe añadirse 75 cm por lado para atar y sellar la tubería a la manga, con lo que resultaría un largo de 11,5 m.

Por seguridad deben montarse dos mangas, una dentro de la otra, evitando dobleces. Debe hacerse una excavación de mínimas dimensiones: Ancho en el borde superior 1 m, ancho en el borde inferior 70 cm, longitud 10 m. La pendiente del suelo debe ser unos 40 cm para que el material fluya hacia la descarga. Hay que suavizar la zanja eliminando piedras y raíces que puedan romper el polietileno.

Montaje: la unión de la entrada de la tubería de PVC a la manga se puede realizar usando bandas de caucho de unos 30 a 50 mm de ancho. Se inserta el tubo a la mitad de su longitud dentro de la manga, luego se amarra la manga doble con la banda estirada, de manera que se traslape la banda en cada vuelta. Se debe empezar desde el polietileno hacia la boca de la tubería. Debe dejarse el otro extremo abierto, sin montar la tubería.

La descarga del gas se hace sobre la parte superior del biodigestor a 1,5 m de un extremo, mediante un tubo de PVC y una manguera de más de 12,5 mm de diámetro, mediante un dispositivo que selle cualquier fuga por la perforación de la manga.

Para transportar el biodigestor debe cerrarse un extremo de la tubería y la descarga del gas. Se infla con aire la manga desde el lado abierto, mediante la agitación de la manga con los brazos, de manera que el aire entre en oleadas. Se ata el extremo abierto de la manga con las bandas de caucho, se traslada a la zanja y se monta la tubería de descarga, en similar forma

que se hizo con la tubería de entrada. El paso siguiente es llenar la manga con agua hasta sellar la entrada y la salida.

En la manguera o tubería de descarga del gas se monta una trampa de agua. Se emplea una botella de 2 litros de policarbonato transparente, con la mitad de agua. Se emplea una conexión tipo T y la extensión vertical de la tubería dentro de la botella debe quedar cubierta de agua.

El fin de este artilugio es tener una válvula de escape, que se pueda ver desde lejos a fin de mantener el nivel apropiado de agua. Debe estar correctamente sellada para no tener fugas y sostenida firmemente a una estructura de madera o metal.

Antes de hacer entrar el estiércol conviene purgar el aire de la manga, de lo contrario será más difícil encender el gas.

El depósito de gas debe tener unos 4 m de largo, hecho con doble manga de polietileno. Debe estar en altura, cerca de la cocina, pero nunca sobre ella. Su función es tener disponibilidad de gas. Es conveniente disponer de un colector de CO₂, fabricado de una caja sellada con un laberinto interior y relleno con soda cáustica, para atrapar el CO₂ y tener una combustión del metano sin impedimentos.

También se recomienda instalar una trampa igualmente sellada, debe contener virutilla de hierro, de la empleada para limpiar sartenes. Además, puede construirse a partir de una botella de policarbonato transparente para visualizar cuando la virutilla está saturada. Su finalidad es captar el H₂S que es tóxico y ataca las válvulas metálicas.

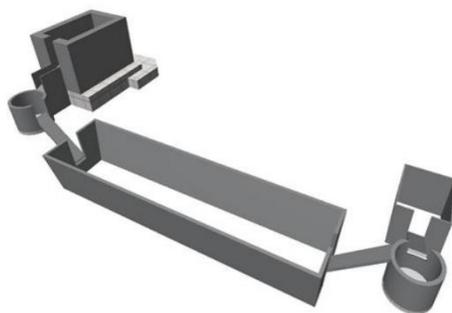


Figura 4. Esquema del sistema de biodigestión cuya entrada es a la izquierda y la salida a la derecha

Fuente: (Salazar, 2012).

Método para generar biogás en instalaciones agrícolas-ganaderas

Este método está diseñado para emplear el estiércol producido en los criaderos de porcinos, lecherías y corrales de engorda. Consiste en la instalación de una laguna en las granjas o criaderos de animales.

Esta laguna realmente es el biodigestor. Sobre el fondo de la excavación circular para la laguna, se instala una geomembrana de polietileno de alta densidad. Esta excavación tiene geometría lenticular la que se asegura y sella alrededor del perímetro del biodigestor. Debe emplearse la geomembrana porque es la más económica opción para evitar fugas de líquidos, no se ve afectada por los procesos de biodegradación del estiércol y por su gran resistencia a la radiación solar ultravioleta.

Encima de la geomembrana del suelo se instala otra similar que hace las veces de cubierta. También debe ser sellada sobre la primera, empleando un anillo con sello de agua. La extracción de semisólidos es segura porque no se rompe el sello de retención del gas.

Los efluentes del proceso de biodigestión se trasladan a otra laguna, que sirve para clarificar los desechos y luego emplearlos para otros fines agrícolas. El biogás obtenido se extrae de la parte superior o domo del biodigestor y se aprovecha para generar energía eléctrica.

Primeramente, hay que limpiar el biogás extrayendo el CO₂ y el H₂S, lo que se hace mediante un sistema de torre de limpieza. Esta consiste en un depósito cilíndrico vertical rellena con pebbles (piedritas). Desde la parte inferior se bombea el gas y desde la superior se descarga a agua a presión por un sistema de regaderas. El metano sale puro por el sector alto y el CO₂ con el H₂S son disueltos y arrastrados por el agua. Este gas se guarda en un depósito separado, con sus correspondientes válvulas de seguridad y control.

Luego se conecta la línea de metano a un motor acoplado a un generador. Debe ser un motor de combustión interna de alta eficiencia, con bajo costo de inversión, larga vida útil y poco espacio para su instalación. Todo el equipo debe estar protegido bajo techo y con un panel de control.

Estos moto-generadores pueden entregar energía eléctrica mensual por un monto de 43.200 kW/h (60 kW x 24 horas x 30 días). Esto significa que, para emplear esta capacidad instalada, debe tener un suministro constante del metano.

Estos motores tienen un consumo promedio de $22 \text{ m}^3/\text{h}$. Este dato permite conocer el mínimo volumen donde puede ser empleado este equipo. Si el motor trabaja las 24 horas, se requiere un suministro mínimo de $528 \text{ m}^3/\text{día}$ de metano o $15.841 \text{ m}^3/\text{mes}$. También cabe considerar que se puede mejorar la eficiencia del sistema empleando los gases de escape del motor, así mediante un intercambiador de calor sencillo, calentar agua y trasladar esa energía al biodigestor. (Elizondo, 2014).

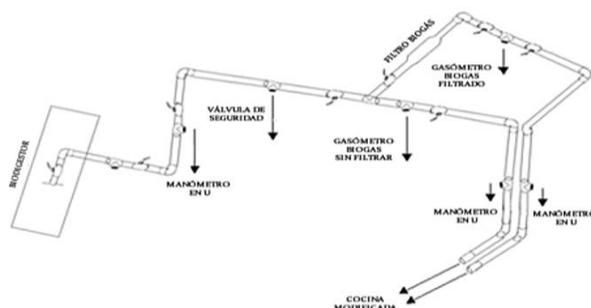


Figura 5. Esquema de la trayectoria del biogás.

Fuente: (Salazar, 2012).

Elaborar programas de mantenimiento de sistemas y dispositivos electromecánicos

Los biodigestores son una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias ya que permiten: disminuir la carga contaminante, mejorar la capacidad fertilizante del material, eliminar los malos olores y, generar un gas combustible denominado biogás el cual puede fácilmente reemplazar al gas natural.

Es importante contar con un manejo adecuado de los implementos utilizados en la construcción de los Biodigestores con esto se garantizará el correcto funcionamiento y a su vez se prolongará la vida útil de cada componente. Para ellos se debe contar con programas de mantenimiento de los sistemas y dispositivos electromecánicos aplicados en esta tecnología.

Los programas de mantenimiento aplicados se basan en los siguientes parámetros:

- Procurar una alimentación continua ya que de esto dependerá el volumen de biogás obtenido.

- Controlar la posición de las válvulas. Las mismas deben estar siempre dando paso del gas que se produce en el biodigestor hacia el acumulador.
- Controlar el nivel de agua en el filtro de agua y de ser necesario completar hasta la altura marcada.
- Revisar las juntas, válvulas, conexiones y tapa en busca de pérdidas de gas, sobre todo en caso de que no se esté acumulando biogás. Se recomienda utilizar agua, esponja y detergente.
- Controlar que, al alimentar el biodigestor, se produzca una descarga de aproximadamente el mismo volumen cargado.
- Controlar que los conductos de entrada y salida se encuentren libres de obturaciones.
- Puede ocurrir que el filtro de ácido sulfhídrico no esté siendo efectivo por lo tanto se deberán cambiar las virutas de hierro o virulana, es conveniente que estas estén oxidadas.
- Controlar el nivel de agua del acumulador de biogás. Este debe llegar hasta el borde del tanque inferior.

Revisión de pérdidas o fugas

Para revisar las posibles pérdidas de biogás se debe contar con presión en el sistema. En caso de no contar con biogás, la presión necesaria se logrará llenando el acumulador de gas con aire. Al desplazar el tanque superior del acumulador hacia arriba con la válvula de salida de gas abierta, el aire ingresará al tanque. Se cerrará la válvula de salida de gas y se dejará caer el tanque.

Mientras se tiene el acumulador lleno de biogás o aire se debe dar presión con un contrapeso. Con esponja y detergente se revisan todas las juntas selladas de las cañerías, acumulador y biodigestor. En caso de existir una fuga se observarán burbujas en la superficie que se cubrió con detergente. Si esto ocurriera se debe volver a sellar. (Indiveri, 2010).

Factores que afectan el funcionamiento

Cambios en la alimentación del biodigestor

Un cambio de dieta repentino puede producir una parada en el biodigestor, o sea, una parada en la producción de biogás. Por eso los cambios deben ser graduales. Un digestor funciona en forma similar al aparato digestivo. Por lo tanto, implica ciertos cuidados ya que es un

sistema vivo, operado por un diverso grupo de bacterias, entre ellas se encuentran las bacterias metanogénicas encargadas de producir el gas metano.

Si un digester fue alimentado constantemente sólo con residuos de cocina y de repente se alimenta únicamente con residuos de industrias, por ejemplo, descartes de frutas, puede ocurrir la acidificación del mismo ya que estos residuos son bastante ácidos. Este desequilibrio trae aparejada la parada del biodigestor. (Martí, 2012).

Nivel del pH

Si el digester experimentara una parada se deberá medir el pH del efluente: si éste se encuentra por debajo de 6, en primer lugar, es necesario parar la alimentación, seguir agitando y medir el pH diariamente para observar si éste aumenta hasta llegar a un valor entre 6,5 a 7,5. Si pasado menos de un mes sin alimentar, no se ven cambios en el pH se debe comenzar a alimentar con residuos que no sean ácidos, por ejemplo, semillas de sorgo, o neutralizar con bicarbonato de sodio y seguir con el plan de aclimatación que se detalló anteriormente. En caso de que ninguno de estos métodos resulte satisfactorio, se procederá a vaciar el biodigestor y volver a cargarlo con nuevas bacterias.

Sobrealimentación

Otro factor a tener en cuenta es la cantidad de sustrato. La sobrealimentación del biodigestor también puede producir paradas en la producción de biogás o simplemente, al colocar mayor cantidad de desecho, el tiempo de retención del mismo será menor por lo que el proceso de fermentación será incompleto. De este modo, se obtiene menor cantidad de biogás y el efluente, el bioabono se encontrará “inmaduro”. Esto quiere decir que, luego de ser extraído, puede seguir fermentando o puede contener microorganismos patógenos que no fueron degradados por no haber completado su proceso de descomposición. Las semillas, a su vez, pueden no haber sido desactivadas debido a su corta permanencia en el biodigestor. Para que no ocurra la sobrealimentación debe respetarse la cantidad de residuo diaria por aplicar, calculada en el dimensionamiento. Tener en cuenta que ésta varía según el tipo de residuo.

Bajas temperaturas

También pueden observarse paradas en el proceso debidas a las bajas temperaturas, ya que las bacterias se inactivan parcialmente con temperaturas menores a los 10°C aproximadamente. Es recomendable que los biodigestores se ubiquen en lugares con

temperatura mayor a 20°C y que la misma sea constante porque las bacterias productoras de metano son muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura. Por esto conviene enterrar los digestores o construirlos con una adecuada aislación.

Otros factores

La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en los residuos con los que se alimenta el biodigestor, puede inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo. También una elevada concentración de nitrógeno y amoníaco destruye las bacterias metanogénicas.

Mantenimiento de los Biodigestores

La operación diaria de un biodigestor de mediana escala es muy sencilla y requiere muy poco tiempo. Pero la operación óptima necesita de un trabajo previo de cálculos y estimaciones que facilitarán luego este trabajo diario.

Se comenzará por dos parámetros fundamentales para el funcionamiento global del digestor:
 1.- Tiempo de retención hidráulico: Es el tiempo que permanece la materia orgánica dentro del reactor. Este tiempo depende del tamaño del biodigestor, de la temperatura y de la carga diaria del mismo:

$$\frac{\text{Volúmen del Digestor}(m^3)}{\text{Tiempo de Retención(Días)}} = \text{Volúmen de Carga Diaria } m^3 / \text{Día}$$

Como se puede deducir de la fórmula, mientras menor sea el tiempo de retención, el tamaño del digestor se reduce y también los costos. Para ejemplificar, la siguiente tabla presenta los principales valores de tiempo de retención según las temperaturas de trabajo:

Tiempo de Retención	Características
30-40 días	Clima tropical con regiones planas.
30-60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos.
60-90 días	Clima temperado con inviernos fríos

Tabla 4. Comparación entre el tiempo de retención y el factor climático

Fuente: Investigadores UTC-LM-ASC-EL

2.- Velocidad de carga: Permite medir la cantidad de sólidos volátiles que se introducen al digestor, independientemente del volumen de carga. Con este parámetro se puede calcular cómo, por ejemplo, aumentar la carga manteniendo el volumen del reactor.

$$Velocidad\ de\ carga = \frac{Kg\ SV}{m^3\ Digestor.\ D\acute{a}a}$$

Para tener una noci3n de los valores de velocidad de carga, se presenta la siguiente figura:

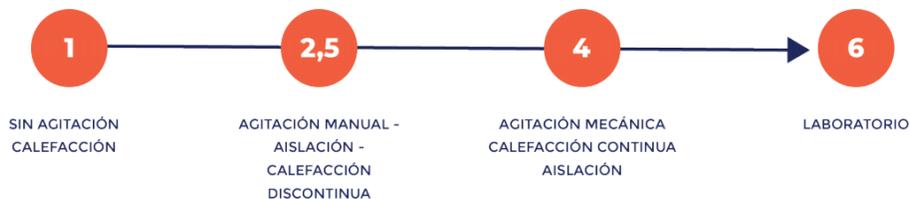


Figura 6. Valores de velocidad de carga

Fuente: (Gonzalez, 2012).

Los dos parámetros son complementarios, ya que brindan diferente informaci3n. Entonces, si se desea calcular la carga del biodigestor ¿Por d3nde se comienza? Por los parámetros fijos. Estos parámetros van a ser distintos seg3n el caso, y puede ser la cantidad de residuo que se necesita tratar por d3a, o la cantidad de biogás que se requiere generar por d3a, o el tanque que se obtuvo para hacer el biodigestor. En fin, cualquiera sea el factor condicionante, se parte desde ah3. (Gonzalez, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSI3N

Resultados de la obtenci3n de biogás

Tiempo	Cantidad de Materia Orgánica	Cantidad de Biogás
Semana 1	300 litros	0,5 m ³
Semana 2	600 litros	1 m ³
Semana 3	900 litros	1,5 m ³
Semana 4	1200 litros	2 m ³
TOTAL	1200 litros	2 m ³

Tabla 5. Cantidad de biogás seg3n el tiempo en el prototipo 1

Fuente: investigadores UTC-LM-ASC-EL

Para obtener una mezcla homogénea es necesario aplicar 20 litros de materia orgánica y 40 litros de agua, como resultado por cada 300 litros de materia orgánica empleados en el Biodigestor se obtendrán 0,5 m³ de biogás. En el transcurso de 4 semanas al aplicar 1200 litros de materia orgánica se obtuvo como resultado 2m³ de biogás.

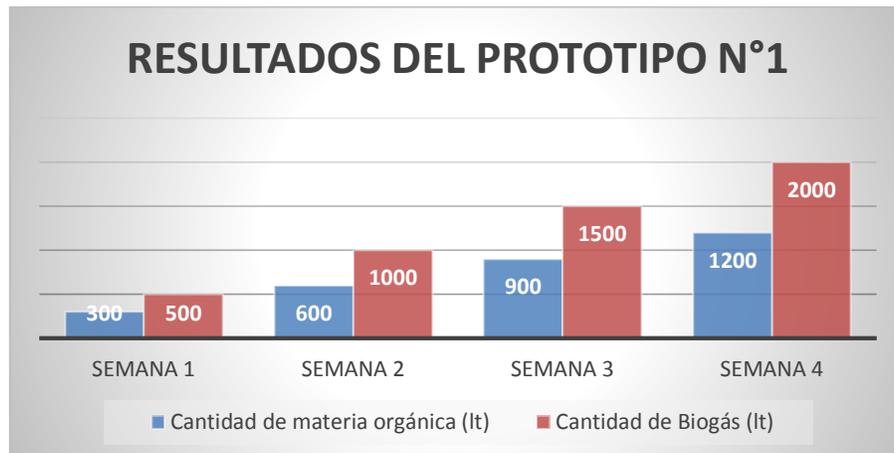


Grafico 1. Cantidad de biogás según la cantidad de materia orgánica en un determinado tiempo

La recogida de datos y los experimentos, se llevaron a cabo en dos escenarios diferentes: en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi y el colegio Jatari Unancha, dónde se construyó el biodigestor. Cada experimento tenía un objetivo distinto y se realizaron en dos etapas: la primera de ellas, antes de la construcción del biodigestor y la segunda, en la que el campo de trabajo era el propio biodigestor.

Durante la primera fase, el objetivo de los experimentos era conocer las características de la materia prima con la que íbamos a alimentar el biodigestor, así como, la proporción óptima de mezcla que optimizara la producción de biogás.

Los experimentos que se llevaron a cabo, fueron los siguientes:

- Determinación del contenido de humedad
- Producción de gas. Biodigestor modelizado en el laboratorio
- Producción óptima de agua y estiércol

Una vez construido el biodigestor, nuestro objetivo era cuantificar en la medida de lo posible, la producción de biogás y el poder calorífico del mismo. A lo largo del proceso de

fermentación, se llevó a cabo un minucioso seguimiento de la evolución del proceso. Así mismo, se llevó a cabo una toma de datos del porcentaje de materia orgánica del compost.

- Primera carga
- Seguimiento de la evolución del biodigestor
- Producción de biogás
- Porcentaje de materia orgánica del compost
- Poder calorífico del gas

Poder calorífico

Para calcular la capacidad calorífica del biogás, calentaremos agua durante un tiempo determinado, y mediante la diferencia de temperaturas entre el inicio y el final del proceso y con el caudal de gas aportado, obtendremos el calor que se absorbe en el proceso:

Experimento 1			
Temperatura inicial	Temperatura final	Tiempo	Volumen
23,7 °C	57,8 C°	10 minutos	500ml
Experimento 2			
Temperatura inicial	Temperatura final	Tiempo	Volumen
23,7 °C	61,1 °C	10 minutos	429 ml

Tabla 6: Diferencia de temperatura entre el inicio y el final del experimento

Fuente: Investigadores UTC-LM-ASC-EL

Tomamos como dato la capacidad calorífica del agua $c = 4,184\text{J/g } ^\circ\text{C} = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ y como densidad del agua 1Kg/L

Conociendo el calor específico (c) y la cantidad de sustancia (m), el incremento de temperatura (ΔT), nos indicará la cantidad de calor que se absorbe en el proceso:

Del experimento 1

$$q = m \cdot c \cdot \Delta T = 500\text{g} \cdot 1\text{cal/g } ^\circ\text{C} \cdot (57,8 - 23,7) ^\circ\text{C} = 17050 \text{ cal}$$

Del experimento 2

$q = m \cdot c \cdot \Delta T = 429g \cdot 1cal/g \cdot 0C \cdot (61,1 - 23,7) = 16045 \text{ cal}$ El calor medio es $(17050 + 16045) / 2 = 16547,5 \text{ cal}$

Necesitamos conocer el caudal del gas, para ello hacemos otro experimento: llenamos una botella de 1L de capacidad y tomamos medidas del tiempo que se tarda en llenar:

- $t_1 = 20''$
- $t_2 = 19''$
- $t_3 = 21''$

A la vista de los resultados, el tiempo medio de llenado es de 20''

Por lo tanto, en 10 minutos que ha sido el tiempo que hemos calentado el agua, hemos utilizado, 30L de gas, que nos han proporcionado un calor aproximado de 16548 cal. Si dividimos esta cantidad entre el volumen de gas utilizado, tenemos que $16548 / 30 = 551,6 \text{ cal/L} = 551,6 \text{ Kcal/m}$.

Sabiendo que el poder calorífico inferior (escogemos este porque trabajamos con el agua en estado vapor) del metano es 9530Kcal/m³, observamos que el poder calorífico útil de nuestro gas es muy bajo. De ello, sacamos las siguientes conclusiones:

- Al estar muy al principio del proceso de digestión, hay un alto contenido de CO₂, lo que resta poder calorífico.

La eficiencia del quemador (hornillo construido de modo casero, con un tubo de cobre, como se ha explicado en capítulos previos) es muy baja y habría que mejorar su diseño.

TIEMPO	TEMPERATURA DEL AGUA
0 min	23°C
1 min	25°C
2 min	27°C
3 min	30°C
4 min	34°C
5 min	37°C
6 min	39°C
7 min	45°C

8 min	50°C
9 min	55°C
10 min	60°C

Tabla 7. Tiempo y temperatura de la ebullición del agua

Fuente: Investigadores UTC-LM-ASC-EL

En el presente cuadro podemos observar el punto de ebullición del agua en tiempo real en la parroquia Guasaganda a 23°C temperatura ambiente, desde el minuto 0 a una temperatura de ambiente inicia a calentar el agua, comienza a aumentar la temperatura del agua, hasta cuando llego al minuto 6 y con una temperatura de 40°C de temperatura, y al minuto 10 el agua alcanza su punto de ebullición máxima del agua que son los 60°C.

Cantidad de biogás consumida en 10 minutos

El volumen del tubo de un neumático lleno de biogás antes de ser utilizado

Diámetro inicial

$$VOLUMEN = \frac{1}{4}\pi^2(R1 + R2)(R1 - R2)^2$$

$$VOLUMEN = \frac{1}{4}\pi^2(0.38m + 0.137m)(0.38m - 0.137m)^2$$

$$VOLUMEN = 0.076m^3$$

Diámetro final

$$VOLUMEN = \frac{1}{4}\pi^2(R1 + R2)(R1 - R2)^2$$

$$VOLUMEN = \frac{1}{4}\pi^2(0.36m + 0.137m)(0.36m - 0.137m)^2$$

$$VOLUMEN = 0.061m^3$$

Gráfica de ebullición del agua

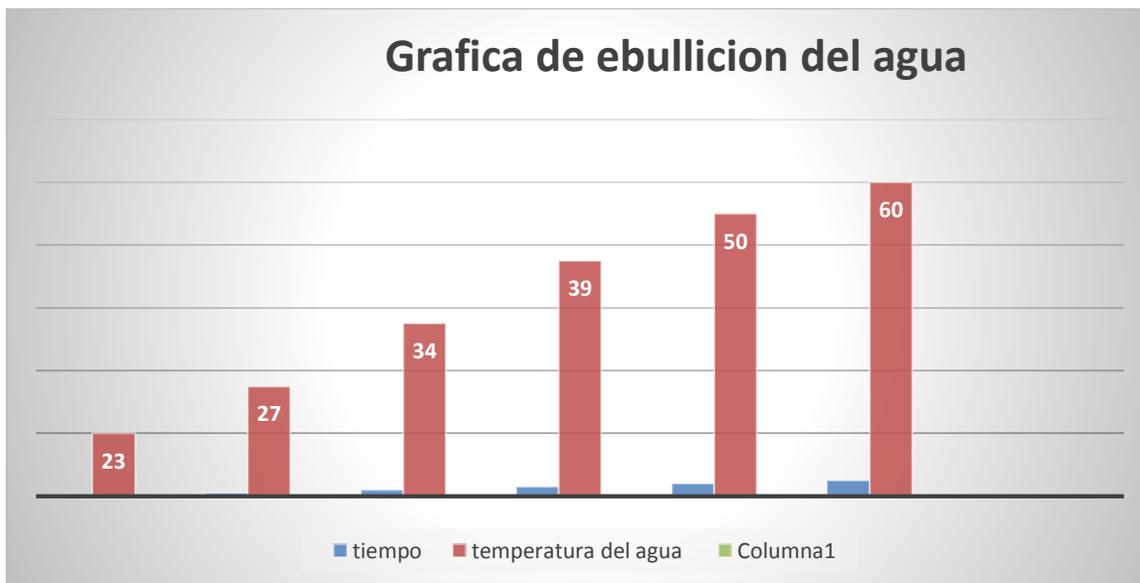


Gráfico 2. Ebullición del agua según el tiempo y la temperatura

CONCLUSIONES

Conformamos que efectivamente es posible construir un biodigestor, con materiales que se localiza en el medio y con muy bajo presupuesto.

El biodigestor construido en este proyecto, satisface las necesidades energéticas para el uso en cocinas como fuente de energía alternativa.

Ante todo, el biodigestor se construyó con fines didácticos, para que sirviera como punto de partida de futuros proyectos fomentando la investigación y utilizar el biogás generado como fuente de energía alternativa, transformarla y obtener electricidad como energía secundaria

La obtención del biogás producto de la degradación de la materia orgánica a través de equipos electromecánicos se convierte en una fuente de energía renovable

Se confirma el poder calorífico del biogás en las pruebas de ebullición del agua de 23°C a 60°C en un periodo de 10 minutos utilizando 71 ml de biogás

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2007). Energía de la biomasa. Madrid España.

- Aguilar FX, B. B. (2006). Estimación de los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. La Paz Bolivia.
- C., M. (2003). Desarrollo de una nueva familia de biodigestores y de una tecnología mecanizada para la producción de fertilizantes. La Habana, Cuba, Cuba.
- Dias E., K. J. (2006). Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales. Guácimo, Costa Rica: Universidad EARTH.
- Domínguez Gómez, D. (2010). Manual de construcción y operación de biodigestor tipo hindú y flujo continu. Ibarra Ecuador.
- Hidalgo, G. (1998). Producción y uso de biogas en instalaciones avícolas. Madrid España.
- Lesson, S. (2003). La producción de pollos parrilleros del futuro: desde la bioseguridad hasta el control de la contaminación. Obtenido de <http://www.engormix.com/nuevo/prueba/alltech.asp> (23/9/03).
- Méndez A, C. E. (2003). Metodología- Diseño y desarrollo del proceso de investigación. Bogota Colombia: McGrawHill.
- Piad, R. (2001). Evaluación de la actividad probiótica de un hidrolizado enzimático de crema de destilería en pollitas de reemplazo de ponedoras. La Habana: Instituto de Ciencia Animal.
- Rodríguez, V. (15 de 05 de 2003). La problemática de los residuos Ganaderos: el caso de la gallinaza. Obtenido de <http://www.terra.es/personal/forma-xxi/cono2.htm> (.).