



**Aprovechamiento de biogás a partir de residuos de estiércol bovinos y residuos orgánicos
de alimentos almacenados en un biodigestor en lotes.**

Carolina Moreno Cardona

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Agroindustrial

Tutor

Víctor Hugo Borda Yepes, PhD. Ingeniería – Sistemas Energéticos

Rodrigo Andrés Ríos – Ingeniero Ambiental

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Agroindustrial

El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia

2021

Cita	(Moreno Cardona, 2021)
Referencia	Moreno Cardona, C. (2021). <i>Aprovechamiento de biogás de residuos de estiércol bovinos y residuos orgánicos de alimentos almacenados en un biodigestor en lotes</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, El Carmen de Viboral, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Seleccione posgrado UdeA (A-Z), Cohorte Seleccione cohorte posgrado.

Grupo de Investigación Seleccione grupo de investigación UdeA (A-Z).

Seleccione centro de investigación UdeA (A-Z).



Seleccione biblioteca, CRAI o centro de documentación UdeA (A-Z)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: Nombres y Apellidos.

Decano/Director: Nombres y Apellidos.

Jefe departamento: Nombres y Apellidos.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Aprovechamiento de biogás a partir de residuos de estiércol bovinos y residuos orgánicos de alimentos almacenados en un biodigestor en lotes.

Resumen

El uso de biodigestores representa a nivel internacional la mejor alternativa para el tratamiento y aprovechamiento de residuos rurales y orgánicos. En tal sentido, permite esta técnica desarrollar e implementar sistemas de co-generación energética aprovechando el biogás – metano – generado en la biodigestión de la biomasa. Otra alternativa, es ser considerada una opción para reducir las emisiones de CO₂ y CH₄ a la atmósfera. El presente proyecto de grado busca evaluar la generación de gas metano a partir de residuos de estiércol bovino y residuos orgánicos de alimentos a partir de la digestión anaeróbica almacenados en un biodigestor por lotes, dicha evaluación se realiza en la subregión suroriente - Antioquia de Colombia. En el proyecto se describió, determinó y evaluó aspectos relacionados con la operación, tratamiento y utilización del biogás para usos de cogeneración energética en quema directa en estufas y refrigeración en neveras adaptadas para tal uso. Los resultados mostraron una viabilidad técnica y socio-económica en la generación del biogás para el suplir energéticamente usos de cocción y refrigeración, ya que dicha tecnología demostró una generación de biogás metano alrededor del 60% de biogás, por tal motivo, se propone una metodología para implementar biodigestores tipo tubular e hindú (campana flotante) propicios para el sector rural y urbano de la subregión suroriente de Colombia

Introducción

En la actualidad el gasto de combustibles, el calentamiento global, entre otros problemas de escala global, nos incitan la necesidad de un giro drástico en la distribución de la matriz energética hacia el uso de energías menos contaminantes para el medio ambiente (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2020). En Colombia el manejo de los residuos orgánicos y rurales ha sido históricamente deficiente, ya que hay situaciones donde estos están cerca de los poblados lo cual afecta a la población causando graves enfermedades respiratorias, al no dársele el tratamiento

adecuado a los residuos de origen animal, esto causan graves problemas ambientales por la descomposición química de estos (Andrade et al., 2018).

La digestión anaerobia es un proceso biológico que sucede de forma natural en el medio ambiente, la materia orgánica se degrada en ausencia de oxígeno, transformándose en biogás, con alto contenido en metano, por tanto, de aprovechamiento energético y en un residuo final, con una alta tasa de destrucción de microorganismos patógenos, que reúne las condiciones para poder ser utilizado como biofertilizante (IDAE, 2007). Por ello, la digestión anaerobia presenta un balance energético positivo posibilitando tanto la prevención de la contaminación como la recuperación sostenible de la energía. El biogás, está compuesto, fundamentalmente, de metano (50-70% CH₄), dióxido de carbono (30-50%CO₂), ácido sulfhídrico (<2% SH₂) y otros gases (NH₃, N₂, H₂...) (Palau Estevan, 2016).

La producción ganadera y el consumo de alimentos genera desechos orgánicos, estos son altamente contaminantes debido a que contienen materia orgánica, microorganismos y nutrientes (Galvez & Isai, 2017). Estos desechos de origen vegetal y animal se pueden transformar, en biogás; en este proceso actúan cuatro grupos de microorganismos. El primer grupo son las bacterias llamadas hidrolíticas, estas hidrolizan las moléculas para formar ácidos grasos y alcohol. El segundo grupo son las bacterias acetogénicas que producen acetato e hidrógeno. El tercer grupo son las bacterias homoacetogénicas, ya que convierten los compuestos orgánicos en ácido acético. Las bacterias metanogénicas son el cuarto grupo de bacterias encargados de digerir la materia orgánica, ya que estas bacterias tienen la capacidad de convertir el ácido acético en metano y dióxido de carbono (Magaña et al., 2006).

El suministro de biogás para su aprovechamiento y posterior generación de energía eléctrica o calorífica, se puede servir de diferentes maneras como: Motores de producción de electricidad (COGERSA, 2011), en una caldera para generación de calor o electricidad, en motores o turbinas para generar electricidad, en pilas de combustibles, purificarlo y añadir los aditivos necesarios para introducirlos en una red de transporte de gas natural, uso como material base para la síntesis de productos de valor añadido y como combustibles de automoción (IDAE, 2007). También, existe el aprovechamiento de biogás mediante los motores de autoconsumo; hornos de incineración, donde el biogás evita el empleo de combustibles fósiles en las plantas de tratamiento térmico; antorchas, las cuales se encargan de eliminar los excesos de biogás que se pueden producir (Initiative, 2011). En los últimos años el uso de biomasa ha comenzado a expandirse generando alternativas

que contribuyan al medio ambiente con bajos niveles de emisiones contaminantes y utilizando varias fuentes para su uso (Mariana et al., 2016). Existen diversos problemas ambiental que se pueden mitigar al implementar procedimientos para un buen manejo y disposición de los desechos, uno de ellos son los biodigestores, los cuales son una excelente alternativa para el tratamiento de los desechos sólidos orgánicos de las diferentes explotaciones agropecuarias ya que permiten: disminuir la carga contaminante, mejorar la capacidad fertilizante del material, eliminar los malos olores y, generar un biofertilizante el cual puede fácilmente reemplazar al gas natural y la generación de un biofertilizante (Arce,2015).

Objetivo General

Evaluar la generación de gas metano a partir de residuos de estiércol bovino y residuos orgánicos de alimentos a partir de la digestión anaeróbica almacenados en un biodigestor por lotes.

Objetivos Específicos

- Describir el proceso de la producción de gas metano a partir de los residuos de estiércol bovino y residuos orgánicos de alimentos almacenados en un biodigestor por lotes.
- Determinar la producción de gas metano a partir de los residuos de estiércol bovino y residuos orgánicos de alimentos almacenados en un biodigestor por lotes.
- Evaluar el aprovechamiento del biogás en diferentes equipos.

Marco Teórico

La generación de gas metano se obtiene a partir de diferentes residuos orgánicos o más sustratos mezclados (Co-digestión) (véase la Figura 1), la ventaja de la mezcla de los diferentes residuos es la sinergia bioquímica de las mezclas, compensando las insuficiencias de cada uno de los sustratos por separado; lo cual ha sido demostrado como procedimiento éxito (Montenegro Orozco et al., 2017). Los diferentes residuos urbanos e industriales en su mayoría contienen altas concentraciones de materia orgánica de fácil biodegradación, por lo cual presentan un mayor potencial de producción de biogás que los residuos ganaderos (Montenegro Orozco et al., 2017)

La producción de gas metano en los últimos años ha tomado gran importancia en la producción animal debido a sus efectos negativos en el medio ambiente. Se ha evidenciado que la producción de gas metano no sólo es resultado de los desechos orgánicos de la digestión del animal sino por los gases producidos durante la digestión, como es el caso del eructo y/o flatulencias del animal debidas a los sustratos alimenticios fermentados en el rumen. Las emisiones de gases metano han favorecido la velocidad de acumulaciones en la atmósfera, las cuales son consideradas junto al dióxido de carbono perjudiciales para el medio ambiente (Carmona et al., 2015).

La producción de gas metano por el ganado bovino, están estimadas en 58 millones de toneladas/año; estos son los responsables de aproximadamente el 15% de la producción de metano global. Otros contribuyentes significativos son los pantanos naturales (21%), los cultivos de arroz (20%), pérdidas por combustión de hidrocarburos (14%), combustión de biomasa (10%) y rellenos sanitarios (7%) (Gutiérrez-Arce & Rojas-Vásquez, 2016). Las características de la dieta animal en la producción ganadera al parecer tienen un gran efecto en la producción de gas metano a nivel global, es decir, en los países en vía de desarrollo, las emisiones son aproximadamente de 55 kg CH₄ /año por animal, en contraste a lo reportado en países desarrollados, de 35 kg CH₄ /año por animal (Echeverri Londoño, 2010), la proyección de emisiones de metano en Colombia, a partir de actividades en el sector pecuario para el 2010.

A los biodigestores se les conoce principalmente por la producción de biogás. La producción en las fincas de un combustible (biogás), que permite que el usuario pueda cocinar con él y que le dé otros usos productivos. Este acceso a una nueva fuente de energía renovable y local, que produce el propio productor, amplía las posibilidades de uso y de mejora de sus procesos, que quizás no haría si debe incrementar su factura energética para esto. De este modo, los biodigestores, mediante la producción de biogás, aumentan la soberanía energética del productor pudiendo ampliar los usos energéticos en su finca (Herrero, 2019).

El término biomasa abarca toda la materia orgánica apta de ser utilizada como fuente de energía, teniendo en cuenta que existen diferentes tipos de biomasa, en nuestro caso es biomasa residual, es decir, son los residuos orgánicos o sólidos que provienen de las actividades de las personas o animales. Los procesos que se pueden llevar a cabo a partir de la biomasa, son los térmicos y biológicos. Los primeros abarcan la gasificación y la pirolisis (Contenido de humedad menor al 15%) los segundos componen la digestión anaeróbica y la fermentación alcohólica, y se realizan a partir de biomasa húmeda (mayor al 60%) (Bernal & Suárez, 2018).

La temperatura es un parámetro importante en la operación del biodigestor anaerobio, debido a que tiene que procurarse un crecimiento bacteriano adecuado y aumentarse la velocidad de las reacciones bioquímicas que se dan en el proceso (De Jesús et al., s. f.)

Digestión anaerobia

Es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno y por medio de diferentes etapas en las que van interviniendo un grupo heterogéneo de microorganismos, que mediante ciertos procesos van a transformar la fracción más degradable de la materia en biogás y los compuestos de más difícil asimilación van a conformar el digestato. Existen 4 etapas en el proceso de digestión anaerobia, las cuales son: Hidrolisis, se da la degradación de los compuestos orgánicos complejos, estos son des polimerizados por la acción de enzimas hidrolíticas en moléculas solubles y fácilmente degradables. Acido génesis, los compuestos solubles obtenidos de la etapa hidrolítica van a ser transformados por la acción de microorganismos y bacterias fermentativas, generando ácidos grasos, hidrogeno, dióxido de carbono y productos intermediarios. Acetogénesis, Los productos de la fermentación son oxidados a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de bacterias facultativas, llamadas acetogénicas, creadoras de ácido. Metanogénesis, las bacterias metanogénicas son las encargadas de convertir el acetato a metano y dióxido de carbono, o reducen el dióxido de carbono a metano (Bernal & Suárez, 2018).

Existen microorganismos presentes en las diferentes fases de la digestión anaerobia, los cuales son: Hidrolisis, Bacteroides, Lactobacillus, Propioni-bacterium, Spingomonas, Sporobacterium, Megasphaera, Bifidobacterium, entre otros. Acido génesis, Propionbacterium, Bifidobacterium, Streptococos, Enterobacterias, Clostridium, Paenibacillus y Ruminococcus, Cytophaga-Flavobacterium-Bacteroides, entre otros. Acetogénesis, Syntrophobacterwolunii, Syntrophomonaswolfei, Acetobacterium, Acetoanaerobium, Acetogenium. Metanogénesis, Methanobacterium, Methanospirillumhungatii, Methanosarcina, Metthanococos, Methanobrevibacter (Díaz et al., 2010).

Metodología

La metodología que se ha seguido para el presente estudio consta de tres partes: en primer lugar, se estimó la cantidad de residuo orgánico (residuos de comida y estiércol bovino) que genera la región a nivel comercial, determinando así, el potencial de producción de biogás. Segundo, se realizó un análisis y se identificó la tecnología disponible que sea apropiada para usuarios residenciales, que permita de manera eficiente la producción de biogás. Tercero, se demostró la viabilidad técnica y económica, así como un análisis del impacto que tiene este sistema en el medio ambiente y en la sociedad.

El trabajo se desarrolló en dos etapas: La primera etapa se desarrolló en el reconocimiento y descripción del proceso de co-digestión, dicha evidencia se registró fotográficamente para todas las fases del proceso, La segunda etapa se realizó análisis fisicoquímicos tales como (temperatura y pH) y las constantes bioquímicas (CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , O_2 y N_2S). De igual forma se caracterizaron los residuos generados en el sector industrial que luego se incorporaron en la elaboración final de la biomasa para el proyecto

Potencial de residuos orgánicos en la región del Oriente Antioqueño: Los residuos sólidos incluyen los desechos residenciales, comerciales, institucionales, aseo del espacio público, de industrias agropecuarias, entre otros. Estos residuos se encuentran compuestos de una gran variedad de materiales orgánicos y no orgánicos, pero principalmente: residuos orgánicos, son los resultantes de la elaboración de comidas y actividades agropecuarias, los cuales se descomponen generando olores desagradables (Jaramillo et al., 2008).

El potencial energético que posee la región del Oriente Antioqueño, se obtuvo de analizarla cantidad de residuos orgánicos, ya sean domiciliarios o de industrias que genera la zona urbana. La población urbana del oriente antioqueño es de 1277076 habitantes, produciendo cada uno en promedio 0.586 kg de residuos por día, de los cuales solo el 39.92% son residuos orgánicos (Cornare et al., 2015). Por otro lado, cada habitante residencial produce 0.23 kg de residuos en un solo día (Marcelo & Viera, 2017).

Luego de la caracterización de los residuos para el biodigestor, se procedió a poner en funcionamiento el biodigestor para la obtención de biogás y fertilizante, a continuación, se describen en la figura 2

Figura 2. Disposición de las partes de biodigestor.

1. Alimentación: La planta de biogás se puede alimentar con una variedad de productos de desecho orgánicos. Por ejemplo, residuos ovinos y residuos de cocina. Se trata de una bañera de aproximadamente entre 30 a 50 gaones (113 a 189 l), donde se colocaba la materia orgánica que alimenta el reactor (Ver figura 2)

2. Biodigestor o reactor: es el recipiente cerrado y hermético en el que se da la entrada de alimentación a través de la tubería de entrada. Aquí es donde el proceso es anaeróbicamente, es decir, en ausencia de oxígeno, digerido o descompuesto para producir biogás y digestato. Como la materia se rompe hacia abajo, el biogás se libera y se recoge en la parte superior del digestor, el depósito de gas. El digestor debe llenarse hasta el punto de desbordamiento, de lo contrario no será hermético, este tiene un volumen de 5m³ (Ver figura 2).

3. Biofertilizante o digestato: La planta de biogás produce un producto estabilizado, digestato, que puede utilizarse como fertilizante. (Ver figura 2).

4. Almacenamiento de digestato: Este es un recipiente con tapa o un hoyo forrado con papel de aluminio que se usa para guardar el digestato hasta que llegue el momento de usarlo (Ver figura 2).

5. Tablero de administración de gas (flujómetro): Para permitir una medición rápida de volumen de biogás utilizado (Ver figura 2).

6. Válvula de alivio de presión: En el tubo en forma de U, una pierna está expuesta a la atmósfera y la otra pierna está conectada al digestor. El agua contenida en el tubo en U separa físicamente el interior del digestor del aire exterior. Entonces, debajo presión normal, no puede escapar biogás y no puede entrar aire. A medida que se genera el gas, el aumenta la presión dentro del digestor. Este gas viaja hasta el alivio de seguridad de sobrepresión y empuja hacia abajo el nivel del agua del tubo en U. A medida que aumenta la presión, el agua se mueve hacia abajo hasta llegar a la parte inferior del tubo en forma de U. Cuando esto sucede, el biogás escapa automáticamente a través del líquido y levanta burbujas de biogás, "burbujeando", y por lo tanto previniendo la sobrepresión, dejando escapar un poco de gas. La presión se mantiene como las burbujas de aire escapan hasta que el digestor se despresuriza de nuevo a su presión de seguridad (Ver figura 2). Cuando este sistema empezó a fallar, se realiza una simulación del sistema, es decir, se colocó una botella con agua que tiene una tubería que sale directamente del biodigestor y cada

vez que allá mayor producción de biogás, se forman unas burbujas dentro del recipiente librando este.

7. Trampa de agua o tubería de alivio: El biogás contiene vapor de agua. En la trampa de agua se acumula agua condensada de forma segura y permanente, evitando atascos en la tubería de gas y permite un drenaje seguro. Es necesario instalar uno en cualquier punto de presión a lo largo de la tubería de gas (Ver figura 2),

8. Filtro desulfurizador para planta familiar: Permite la extracción del sulfuro de hidrógeno que es componente natural del biogás. Este H₂S es muy corrosivo y, por lo tanto, su eliminación es importante para garantizar una mayor vida útil de los equipos domésticos usados a biogás. También permite la extracción del vapor de agua que es componente natural del biogás (Ver figura 2).

9. Tubería conductora de gas y uso de este: Este término se utiliza para cualquier aparato en el que se utilice gas, por ejemplo, nevera y estufa a gas (Ver figura 2). El biodigestor es de flujo continuo, el cual está dispuesto y en operación por la empresa. Este biodigestor fue utilizado en el proyecto como equipo de generación de combustible en una cocina (Fogón y nevera), los cuales fueron adecuados o dispuestos para beneficio de los mayordomos.

Resultados y análisis

Los resultados se explican de acuerdo a cada una de las etapas mencionadas en el funcionamiento del biodigestor: El biodigestor se cargaba diariamente con excreta líquida de vaca o residuos alimentarios, es decir, digestión (EB. Estiércol bovino) y luego de cierto tiempo se empezó a realizar Co-digestión (RS. Residuos alimentarios masa de panadería y EB); el tiempo de llenado del biodigestor era aprox. de 45 min. El experimento se realizó en el período enero-mayo de 2021.

En la alimentación, se presentaron inconvenientes al momento del ingreso de la materia prima al sistema, ya que esta era demasiado sólida (Ver anexo 1), se lleva registro de la alimentación para así tener control del sistema (Ver anexo 12) ; con respecto a los residuos de alimentación, se evidencio que esta era muy acida generando que los micro organismos del sistema no hicieran bien su funcionamiento, ocasionando poca producción de biogás pero si bastante producción de dióxido de carbono, producto que no es de nuestro interés(Ver anexo 2).

En el biodigestor también se presentaron problemas en la etapa ácido génica (Ver anexo 3), esto se dio cuando se empezó con el proceso de Co-digestión, como se mencionaba anteriormente, sin embargo, al momento de obtener el bioabono se observa una excelente diferencia en los pastos en un tiempo mínimo al convencional utilizando fertilizantes comunes del mercado (Ver anexo 4); este es almacenado en un tanque para su distribución final (Ver anexo 5), cabe mencionar que el lodo y la parte líquida (efluente) no se analizó.

La producción de biogás se vio afectada en el momento que el sistema empezó a recibir residuos alimentarios, sin embargo, para que el sistema no se viera afectado directamente por esto se mezcló la biomasa con cal para así subir el pH de la solución (alcalina o neutra) y controlar los parámetros del sistema, la temperatura también fue un parámetro importante el cual también se controló durante toda la experimentación (Ver anexo 12). Sin embargo, al mezclarle cal a la materia prima se siguieron observando inconvenientes en la fase acidogénica como se mencionaba anteriormente y por esto hubo disminución en la producción de biogás (Ver anexo 6), cabe resaltar que cuando se realizaba alimentación solo con estiércol bovino la producción de biogás era aprox. 75% mayor (Ver anexo 6), esto se pudo evidenciar de tal manera que los días que hubo solo alimentación de estiércol en la válvula de alivio de presión al momento de agitar el sistema se presentaban burbujas lo cual nos indicaba que el sistema estaba saturado de biogás y no había sido consumido entonces era liberado mediante este (Ver anexo 7).

El biogás que va directamente para uso doméstico contiene gran cantidad de agua, molécula que no nos interesa, por esta razón en algunas partes estratégicas de la tubería se colocaron trampas de agua (Ver anexo 8), las cuales luego de alimentar el sistema se abren para retirar el exceso de agua que pueda estar contenido dentro del gas, sin embargo, para asegurarnos de que este 100% libre de agua, el sistema tiene un filtro desulfurizador de carbón activado (Ver anexo 9) para terminar de separar los líquidos o residuos restantes del gas el cual es nuestro producto de interés.

Luego de pasar el biogás por el filtro este es conducido directamente a dos fogones y una nevera, uno de los fogones se encuentra ubicado en el establo donde realizan el ordeño, al momento de finalizar este, en el fogón se pone a calentar el agua para luego ser lavada la máquina de ordeño y así obtener una mejor calidad de leche. El otro fogón se encuentra ubicado en la casa de los mayordomos (Ver anexo 10), en este ellos realizan toda la preparación de sus comidas, también se les instaló una nevera que trabaja con gas natural y esta fue acondicionada para trabajar con el biogás (Ver anexo 11). La nevera para poder funcionar con el biogás se le modificaron los

inyectores, inicialmente se desarmo el sistema de inyección de la nevera, el inyector original era de 0,48 mm, se inicia pruebas con este, pero no enciende, se continúa realizando pruebas con inyectores de 1,7, 2.0 y 2.5 mm siendo más eficiente el de 1.7 mm teniendo en cuenta que sin encendido continuo. Se continuaron con pruebas con el inyector de 1.7 mm y se reduce el paso entre el inyector y la cámara de combustión, mejorando los intentos de encendido continuo; se sellaron otras posibles entradas de aire y la llama ya se mantiene encendida en forma vertical, generando el funcionamiento de la nevera de forma eficiente (Ver anexo 11)

Conclusiones

La producción total de biogás en el proceso de digestión bovina fue superior en comparación con la generación de biogás utilizando la Co-digestión. La producción de biogás durante los primeros 20 días es mayor para el caso de estiércol bovino que cuando se presenta el proceso de co-digestion; esto se daba debido a que los residuos orgánicos serán demasiado ácidos, sin embargo, para esto se mezclaban con cal para subir este y no se vieron respuestas positivas a la generación de biogás.

El mayor promedio de temperatura ambiente registrado fue de 16.6 °C y 15 °C tanto para el proceso de digestión bovino como de co-digestion orgánico-bovino, respectivamente.

En la digestión bovino las temperaturas más elevadas se registraron 26.8 °C y 27.8 °C para el proceso bovino y proceso de Co-digestion, respectivamente, en diferentes intervalos de tiempo. Se evidencio que al implementar la Co-digestion el sistema sube demasiado su temperatura afectando drásticamente en la producción de biogás. Es posible que la cantidad de biogás producido pudo tener cierta afección debido a los cambios bruscos de clima en el lugar de estudio puesto que se registraron máximas de 28 °C durante el día y en la noche descendida hasta mínimas de 11 °C. Esto perjudica a la acción de los microorganismos responsables de la metano génesis.

El mayor grado de acidez fue en la co-digestion con un valor de 5.4 a los 77 días del proceso y el máximo valor en la digestión bovina fue de 6.5 al día 7. En este mismo sentido, es mejor cuando no hay proceso de co-digestion, ya que todos los parámetros importantes dentro del proceso se ven negativamente afectados durante el proceso, generando que el sistema funcione ineficientemente.

La aplicación de bioabono de estiércol bovino en el suelo evidencio el desarrollo de biomasa vegetal en grandes cantidades, pudiendo recomendarse este sustrato como biofertilizante.

Referencias Bibliográficas

- Andrade, A., Tibaquirá, J. E., & Restrepo, A. (2018). *Estimación de biogás de relleno sanitario, caso de estudio: Colombia*. *Entre ciencia e ingeniería*, 12(23), 40.<https://doi.org/10.31908/19098367.3701>
- Arce, J. J. (2015). *Diseño de un Biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del Litoral*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, 198.<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3633/1/UPS-GT000348.pdf>
- Arhoun Málaga, B., & Francisco García Herruzo José Miguel Rodríguez Maroto Programa de Doctorado, D. (2017). *Digestión y codigestión anaerobia de residuos agrícolas, ganaderos y lodos de depuradora*. Memoria que para optar al Grado de Doctor presentado en. <http://orcid.org/0000-0003-2263-0639>
- Bernal, L. E., & Suárez, L. S. (2018). Diseño conceptual de un biodigestor partiendo de estiércol vacuno produciendo en la finca el guarumal, para la obtención de biogás.
- Carmona, J. C., Bolívar, D. M., & Giraldo, L. A. (2015). *El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo*. Universidad de Antioquia. <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v18n1/v18n1a06.pdf>
- COGERSA. (2011). *Captación de Biogás*. <https://www.cogersa.es/metaspaces/portal/14498/19174>
- Chang, S. (2014). Anaerobic Membrane Bioreactors (AnMBR) for Wastewater Treatment. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 04(01), 56-61. <https://doi.org/10.4236/ACES.2014.41008>
- Cornare, Desarrollo, A. clima y, Natura, F., & WWF. (2015). Análisis socioeconómico del Oriente Antioqueño Anexo 1.
- De Jesús, M., Fregoso, S., Ferrera-Cerrato, R., Etchevers Barra, J., Alcántar González, G., Santos, J. T., Borges Gómez, L., & Pereyda Pérez, G. (s. f.). PRODUCCION DE BIOFERTILIZANTES MEDIANTE BIODIGESTION DE EXCRETA LIQUIDA DE CERDO Biodigestion of Hog Slurry to Produce Biomanure.
- Jaramillo, G., Liliana, H., & Zapata Márquez, M. (2008). APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN COLOMBIA.

Marcelo, D., & Viera, J. (2017). PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS BIODIGESTORES PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS POR USUARIOS RESIDENCIALES EN LA REGIÓN PIURA.

De Investigación En, G., Químicos, P., Bioquímicos, Y., La, D. E., & De, F. (2018). Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento.

Díaz, M. C., Vargas Espitia, S. E., & Pérez Molina, F. (2010). Digestión Anaerobia una aproximación a la tecnología.

Echeverri Londoño, C. A. (2010). Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero en el municipio de Montería (Córdoba, Colombia). Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad de Medellín.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242006000200008

Galvez, L., & Isai, Y. (2017). Producción de biogas a partir del estiércol de ganado vacuno y gallinaza durante el proceso de digestión anaerobia a escala de laboratorio. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DEL ESTIERCOL DE GANADO VACUNO Y GALLINAZA DURANTE EL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIA A ESCALA DE LABORATORIO.pdf

Gutiérrez-Arce, F., & Rojas-Vásquez, Z. (2016). Gas metano en la producción ganadera y su contribución al calentamiento global methane gas in animal production and their contribution to global warming. En ECO SCIENTIA (Vol. 2, Número 2).
www.planccperu.org,

Herrero, J. M. (2019). BIODIGESTORES TUBULARES GUIA DE DISEÑO Y MANUAL DE INSTALACION. Redbiolac, Ecuador.
https://drive.google.com/drive/u/1/folders/11Lm6YvOJXQ32uevieceaHLHLtf5_1Yft

IDAE. (2007). Digestión anaerobia y Biogás. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. <https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1rZcKdXXHpVi21NbGqHX44-DN86iDiDmh>

IDAE. (2007). Biomasa: Digestores anaeróbicos. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_Digestores_Anaerobios_A2007_0d62926d.pdf

Initiative, G. M. (2011). Metano de Vertederos: Reduccion de las Emisiones, Avance de las Oportunidades de Recuperacion y Utilizacion. www.globalmethane.org

Magaña, M. R., Luis, J., Juárez, S., & Cantero, H. (2006). Universidad de Guanajuato. Universidad de Guanajuato, 16(2), 27-37. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41616204>

Marcelo, D., & Viera, J. (2017). PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS BIODIGESTORES PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS POR USUARIOS RESIDENCIALES EN LA REGIÓN PIURA.

Mariana, A., Rodriguez, G., Daniel, J., & Franco, G. (2016). Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos vegetales obtenidos en la central de abastos de Bogotá mediante digestión anaerobia.

Montenegro Orozco, K. T., Rojas Carpio, A. S., Cabeza Rojas, I., & Hernández Pardo, M. A. (2017). Potencial de biogás de los residuos agroindustriales generados en el departamento de Cundinamarca. Revista ION, 29(2), 23-36. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016002>

Palau Estevan, C. V. (2016). Digestión anaerobia de residuos de biomasa para la producción de biogás. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68331/Palau - Digestión anaerobia de residuos de biomasa para la producción de biogás. Fundamentos..pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68331/Palau-Digestion-anaerobia-de-residuos-de-biomasa-para-la-produccion-de-biogas-Fundamentos.pdf?sequence=1)

Smith, J. E. (2015). Otras fuentes de energía: metano e hidrogeno | Apuntes de Biotecnología. cneyoyisari2046. <http://apuntesbiotecnologiageneral.blogspot.com/2015/06/otras-fuentes-de-energia-metano-e.html>

Anexos

Anexo 1. Biomasa utilizada en la alimentación

Anexo 2. Producción de dióxido de carbono en el proceso de co-digestion.

Anexo 3. Biodigestor

Anexo 4. Biofertilizante en pasto.

Anexo 5. Almacenamiento digestato.

Anexo 6. Flujómetro proceso de digestión y Co-digestion respectivamente.

Anexo 7. Válvula de alivio de presión.

Anexo 8. Trampas de agua.

Anexo 9. Filtro desulfurizador

Anexo 10. Fogón cocina mayor domos.

Anexo 11. Nevera, modificaciones y funcionamiento.

Anexo 12. Formato producción de biogás.

Donde:

E. Alimentación estiércol

C. Alimentación residuos de panadería

A. Alimentación aceite usado

S. Biomasa

D. Digestato

Tabla 2. Producción de biogás diaria e indicadores.

Fecha	Producción de gas					Salida digestato kg	Medición pH		Medición temperatura	
	Entrada (kg)			Lectura	Consumo diario		S	D	S	D
	E	C	A	m ³	m ³				°C	°C
5/01/2021	160	0	0	16,68	0	155	-	-	-	-
6/01/2021	160	0	0	17,74	1,06	155	-	-	-	-
7/01/2021	160	0	0	19,05	1,31	155	-	-	-	-
8/01/2021	160	0	0	19,87	0,82	155	-	-	-	-
12/01/2021	160	0	0	22,24	2,37	155	-	-	-	-
13/01/2021	160	0	0	22,25	0,01	155	-	-	-	-
14/01/2021	200	0	0	22,88	0,63	195	6.5	7,6	19,3	18,2
15/01/2021	200	0	0	23,75	0,87	195	8	7,6	23,4	19
18/01/2021	200	0	0	25,91	2,16	195	6.7	7.1	20	18.9
20/01/2021	200	0	0	27,34	1,43	195	7.4	7.1	18.6	18.3
21/01/2021	200	0	0	28,18	0,84	195	8.1	7.1	16.6	17.7
22/01/2021	200	0	0	28,97	0,79	195	8	7.1	21.5	18.8
25/01/2021	200	0	0	31,18	2,21	195	6.7	7.1	20	18.9
26/01/2021	200	0	0	31,18	0	195	7.6	7.2	18.5	18
28/01/2021	200	0	0	32,57	1,39	195	7.6	7.2	26.8	18.6
1/02/2021	200	0	0	35,59	3,02	195				
2/02/2021	200	0	0	35,6	0,01	195	7.2	7.1	21.8	18.4

3/02/2021	200	0	0	35,6	0	195					
4/02/2021	194	6	0	35,6	0	195	7.4	6.9	20.5	20.7	
5/02/2021	0	0	0	35,6	0	-5	7.6	7.2	18.5	18	
6/02/2021	194	6	0	35,64	0,04	195	6.8	7.3	21.2	19.7	
8/02/2021	194	6	0	38,38	2,74	195	7.9	7	18.9	18.6	
9/02/2021	194	6	0	39,39	1,01	195	7.7	6.6	19	19.4	
10/02/2021	194	5	1	41,62	2,23	195	7.5	6.8	19.9	18.5	
11/02/2021	188	10	2	42,54	0,92	195	7.4	6.9	20.7	18.5	
12/02/2021	188	10	2	45,35	2,81	195	8.6	6.8	19.6	19.9	
15/02/2021	188	10	2	49,92	4,57	195	7.5	6.5	24.7	19.8	
16/02/2021	188	10	2	50,74	0,82	195	7.5	7.4	22.6	19.9	
17/02/2021	188	10	2	51,92	1,18	195	7.3	6.7	21.4	20.4	
18/02/2021	188	10	2	53,35	1,43	195	7.8	6.4	21.2	20.8	
19/02/2021	188	10	2	55,04	1,69	195	8.1	6.6	20.4	20.2	
22/02/2021	182	15	3	57,49	2,45	195	7.4	6.7	20.8	19.8	
23/02/2021	182	15	3	59,73	2,24	195	8.1	7	18.9	17.7	
24/02/2021	182	15	3	61,21	1,48	195	6.5	7.3	20.8	19.6	
25/02/2021	182	15	3	62,6	1,39	195	7.3	7	23.4	21	
26/02/2021	20	0	0	64,53	1,93	15	7.7	7	24.2	23.3	
1/02/2021	20	0	0	65,14	0,61	15	7.6	6.2	19.2	19.3	
2/02/2021	0	0	0	66,07	0,93	-5	7.4	5.5	19.3	19.2	
3/03/2021	20	0	0	67,24	1,17	15	7.6	6.1	19.3	19.3	
4/03/2021	20	0	0	69,37	2,13	15	6.1	6.8	19.5	19.2	
5/03/2021	20	0	0	70,37	1	15	8.2	6.2	20.3	19.5	
8/03/2021	20	5	0	70,69	0,32	20	7.2	6.9	20.8	19.7	
9/03/2021	20	5	0	70,7	0,01	20	7.8	6.9	19.9	19.1	
10/03/2021	20	5	0	71,66	0,96	20	7.7	6.4	19.2	19.5	

11/03/2021	20	5	0	72,2	0,54	20	7.9	6.8	15.0	20
12/03/2021	20	10	0	72,21	0,01	25	8.1	6.2	18.6	18.7
13/03/2021	20	10	0	72,21	0	25	8.4	6.1	18.5	19
15/03/2021	40	25	0	73,83	1,62	60	7.9	6.9	19.9	19.1
16/03/2021	40	25	0	75,52	1,69	60	6.9	6.2	20.4	18.6
17/03/2021	40	25	0	77,16	1,64	60	7.8	6.3	23	18.3
18/03/2021	40	25	0	77,24	0,08	60	7.9	6.5	20.1	18.1
19/03/2021	40	25	0	78,16	0,92	60	8	6.8	20.8	18.6
22/03/2021	40	25	0	82,21	4,05	60	7.8	6.3	19.1	18.5
23/03/2021	40	25	0	83,63	1,42	60	7.6	7.3	22.1	19.3
24/03/2021	40	30	0	85,42	1,79	65	7.9	7.6	20.3	19.6
25/03/2021	40	30	0	86,27	0,85	65	6.6	6.9	22.1	19.4
26/03/2021	40	30	0	87,52	1,25	65	7.9	6.9	21.3	20.7
29/03/2021	40	30	0	90,15	2,63	65	7.6	6.5	23.4	21.2
30/03/2021	40	30	0	91,22	1,07	65	7.8	6.9	27.8	19.9
31/03/2021	40	30	0	93,05	1,83	65	7.4	7.1	23	20.1
3/04/2021	40	30	0	98,05	5	65	7.9	6.4	21.8	22.9
5/04/2021	20	5	0	101,03	2,98	20	7.4	6.6	27.6	21
6/04/2021	20	5	0	102,1	1,07	20	7.1	6.5	21	20.8
7/04/2021	20	5	0	102,11	0,01	20	8	6.3	22.8	19.6
8/04/2021	20	5	0	103,05	0,94	20	7.4	6.3	20.8	20.6
10/04/2021	0	0	0	105,6	2,55	-5	7.6	6.2	21.9	21.2
12/04/2021	20	10	0	108,57	2,97	25	7.9	6.2	21.7	23.6
13/04/2021	20	10	0	108,58	0,01	25	8.0	6.2	23.1	25.3
14/04/2021	20	10	0	109,44	0,86	25	7.2	6.1	22.6	21.8
15/04/2021	20	10	0	111,45	2,01	25	7.6	5.8	22.6	24.8
16/04/2021	20	10	0	112,67	1,22	25	7.7	5.8	23.9	20.3

19/04/2021	30	15	0	118,84	6,17	40	7.2	5.6	20.7	21.9
20/04/2021	30	15	0	120,03	1,19	40	7.0	5.7	21.6	24.3
21/04/2021	30	15	0	120,81	0,78	40	7.5	5.7	22.3	20.8
22/04/2021	30	15	0	122,49	1,68	40	7.8	5.6	22.3	19.8
26/04/2021	30	15	0	128,32	5,83	40	7.8	5.5	22.9	18.8
27/04/2021	30	20	0	129,77	1,45	45	7.9	5.5	23	20.0
29/04/2021	30	20	0	131,56	1,79	45	8.0	5.4	21.5	17.6
3/05/2021	0	0	0	132,8	1,24	-5	8.2	5.5	21.9	22.8
4/05/2021	30	20	0	133,56	0,76	45	7.7	5.6	22.6	22.5
5/05/2021	30	20	0	136,25	2,69	45	7.9	5.6	21.3	22.2
6/05/2021	40	25	0	137,36	1,11	60	7.8	5.7	22.6	21.8
10/05/2021	40	25	0	139,49	2,13	60	7.6	5.8	21.6	21.6
11/05/2021	40	25	0	139,5	0,01	60	7.1	5.8	20.2	21.2
12/05/2021	40	25	0	140,27	0,77	60	7.2	6.1	21.3	21.2
14/05/2021	40	25	0	143,67	3,4	60	7.7	6.4	20.5	18.9