

Análisis de la Producción Energética con el Uso de Biodigestores Experimentales
Analysis of Energy Production with the Use of Experimental Biodigesters
Paul Iván Carrillo García; Ing. Hidalgo Osorio William Armando, M.Sc.

**INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO**

**Julio - diciembre, V°4-N°2;
2023**

- ✓ **Recibido:** 30/11/2023
- ✓ **Aceptado:** 07/12/2023
- ✓ **Publicado:** 30/12/2023

PAÍS

- 🇪🇨 Ecuador, La Maná
- 🇪🇨 Ecuador, La Maná

INSTITUCIÓN

- Universidad Técnica de Cotopaxi
- Extensión La Mana.
- Universidad Técnica de Cotopaxi
- Extensión La Mana.

CORREO:

- ✉ paul.carrillo4445@utc.edu.ec
- ✉ William.hidalgo7885@utc.edu.ec

ORCID:

- 🌐 <https://orcid.org/0009-0002-0452-9748>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0001-6783-0947>

FORMATO DE CITA APA.

Ardila, M. Pazuña, W. (2023). Análisis del estado del arte del uso de tecnologías de transmisión de energía eléctrica. *Revista G-ner@ndo, V°4 (N°2)*. 782 – 816

Resumen

El presente documento tiene como finalidad analizar la producción energética a través de la obtención de biogás, a partir de estiércol vacuno y porcino, en un biodigestor experimental en el cantón La Maná, en la provincia de Cotopaxi. La elección del emplazamiento es la primera etapa, seguido por la preparación del estiércol porcino y vacuno. El diseño del biodigestor se basó en la cantidad de biomasa disponible, contando con un espacio destinado a la producción de biogás, el volumen total es de 0.2197 m³, de este espacio disponible el 68% fue ocupado por la mezcla estiércol-agua que tuvo una relación de mezcla 1:1, en volumen. El tiempo de retención para cada tipo de estiércol fue de 50 días. Con un peso de 62 kg para el estiércol vacuno el biogás producido tiene un pH de 6, ligeramente ácido, una temperatura de 19.8 °C y un volumen de 0.04034 m³. Con un peso de 42 kg para el estiércol porcino el biogás producido tiene un pH de 5, ligeramente ácido, una temperatura de 20.2 °C con un volumen de 0.0508 m³, el biogás producido por cada residuo orgánico fue almacenado en tubos neumáticos de llanta.

Palabras clave: Biodigestores, Energía, Biomasa, Biogás, Ambiente.

Abstract.

The purpose of this document is to analyze energy production by obtaining biogas from cattle and swine manure in an experimental biodigester in the canton of La Maná, in the province of Cotopaxi. The selection of the site is the first step, followed by the preparation of pig and cattle manure. The design of the biodigester was based on the amount of biomass available, counting on a space destined for biogas production, the total volume is 0.2197 m³, of this available space 68% was occupied by the manure-water mixture that had a 1:1 mixing ratio, in volume. The retention time for each type of manure was 50 days. With a weight of 62 kg for cattle manure the biogas produced has a pH of 6, slightly acidic, a temperature of 19.8 °C and a volume of 0.04034 m³. With a weight of 42 kg for swine manure the biogas produced has a pH of 5, slightly acidic, a temperature of 20.2 °C with a volume of 0.0508 m³, the biogas produced by each organic waste was stored in tire tubes.

Keywords: Biodigesters, Energy, Biomass, biogas, Environment.

Introducción

En una sociedad en constante cambio, el uso de energía cumple un papel fundamental en el desarrollo mundial, considerando que su generación y mantenimiento ocasiona un gran impacto en el avance económico y social (Barragan & Llanes, 2020). La población mundial se ha vuelto tan dependiente de la tecnología y con ello un alto consumo de energía que ha llevado a la reducción de recursos naturales no renovables, esto ha representado un leve aumento de consumo energético de 2.1% anual mundial en 2022 pero mayor respecto al incremento promedio entre 2010 y 2.

Con el objetivo de satisfacer la creciente necesidad energética debido al incremento poblacional en el mundo, las investigaciones sobre generación de energías se han volcado hacia una nueva corriente en la cual el principal objetivo es la reducción de los impactos ambientales asociados a la producción energética provenientes de combustibles fósiles o tradicionales (Barragan & Llanes, 2020), a partir de fuentes renovables cada vez más limpias y amigables con el ambiente, razón por la cual es necesario contar con métodos y estrategias que ayuden a mitigar esta problemática global.

Un biodigestor es un sistema completamente cerrado que en el interior contiene residuos orgánicos necesarios para transformar el material orgánico en biogás. Y su estructura está fabricado de distintos tipos de materiales como plástico, polietileno, concreto, subterráneos, acero y algunas aleaciones que evitan la corrosión y la producción de hongos o agentes externos que en ninguna circunstancia están considerados dentro del proceso de digestión anaeróbica, que pueden llevar a resultados no deseados.

El biogás está conformado por una mezcla de varios gasees que están presentes en pequeñas o grandes cantidades, generalmente tiene la presencia de CH₄ (Metano) y CO₂ (Dióxido de carbono). Debido a su composición se lo considera un gas ecológico, ya que ayuda

a cerrar el ciclo del CO₂, producido en su combustión (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

En la búsqueda de nuevas estrategias para la producción de energía, en este contexto, los biodigestores han surgido como una tecnología prometedora y versátil para la generación de energía sostenible, gracias a que su funcionamiento se basa en la descomposición anaeróbica y especialmente para este estudio se tratará con residuos orgánicos de ganado vacuno y porcino, que genera un biogás compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono, este proceso además contribuye a una gestión adecuada de recursos orgánicos, (Hidalgo Osorio et al., 2023).

Comprender el funcionamiento y sus posibles impactos ambientales, no sólo podría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también proporcionar soluciones a problemas de gestión de residuos orgánicos y déficit energético en diversas ciudades alrededor del mundo. Esta investigación simboliza un paso importante hacia un futuro limpio, sostenible e independiente desde el punto de vista energético, (Tangri et al., 2022).

Este artículo tiene como objetivo analizar la producción energética con el uso de biodigestores experimentales y la posterior comparación entre dos fuentes de producción de energía sostenible, siendo el biogás producido por el estiércol de vacas y cerdos. A lo largo de esta investigación, se buscará proporcionar una base sólida de conocimiento, que contribuya al desarrollo y adopción efectiva de biodigestores como una alternativa viable y sostenible en la matriz energética global, comparando entre la producción.

Producción de Biogás

El proceso de obtención de biogás, ocurre de manera natural en un entorno con privación de oxígeno, es decir, es un proceso anaerobio, y está condicionado al comportamiento de variables como: temperatura ambiental, tiempo de retención, pH y relación carbono/nitrógeno. Para que ocurra de mejor manera este proceso debe ejecutarse en un entorno controlado, dentro de un biodigestor, que cuenta con el espacio necesario para la digestión anaerobia y la captación del

gas a través de campanas de extracción o tuberías situadas en la parte superior de este recipiente, que facilita el almacenamiento del gas, en otro recipiente para futuras aplicaciones (Santosh y otros, 2020).

Valoración energética del biogás

En base a una valoración energética del estiércol recolectado en animales de granja, se calculó que los animales que presentan un mayor potencial en la generación de biogás son los porcinos y ovejas, transformando cerca del 35 % de su materia orgánica en biogás, en el caso de vacunos y aves de corral, la producción de biogás representa cerca del 15 %, en el caso de conejos y caballos la producción de biogás es insignificante, pero su efluente tiene igual valor nutricional como bioabono (Lozano, 2018).

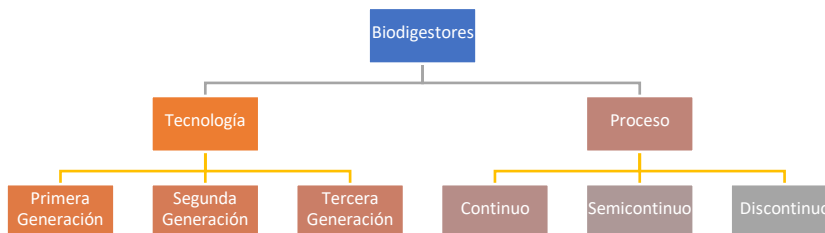
La mezcla de materia orgánica procedente de estiércol de animales de granja con materia vegetal en relación 4:1, produce un aumento cercano al 86 % en la producción de biogás, en comparación con procesos que trabajaban solo con estiércol, teniendo en cuenta que ambos estudios se realizaron bajo las mismas condiciones, la adición de materia vegetal al biodigestor produce una fracción mayor de metano en el biogás, involucrando un mayor potencial energético (Lozano, 2018).

Biodigestores

Un biodigestor es un recipiente cerrado, que en su interior se da a lugar un proceso de digestión anaerobia de materia orgánica, generalmente residuos orgánicos, pueden ser desechos agrícolas y forestales, aguas residuales y estiércol de animales de granja, para la obtención de biogás y bioabono. Un biodigestor está conformado por un área de premezclado, el digestor, una salida de gas y una salida del efluente.

Clasificación de biodigestores: Los biodigestores se clasifican de acuerdo con su tecnología y a su tipo de proceso.

Figura 1. Tipo de biodigestores



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con su tecnología los biodigestores se clasifican en primera, segunda y tercera generación. Los biodigestores de primera generación cuentan con un proceso de digestión y una materia orgánica en suspensión. Tanto en la segunda como en la tercera generación los microorganismos responsables de la digestión están retenidos, en la segunda generación por las propiedades y forma del reactor, mientras que en la tercera por su forma de biopelícula (De la Merced, 2022).

En base a su proceso, los biodigestores se clasifican en continuos, discontinuos y semicontinuos. Los biodigestores continuos cuentan con un área destinada a la post digestión, este espacio se encuentra sellado logrando receptar la mayor cantidad de gas disponible. En biodigestores discontinuos la materia orgánica es introducida al biodigestor y éste es sellado, para dar comienzo a la digestión, la generación de biogás va en aumento hasta un punto máximo, el cual es el indicativo de que se debe vaciar el biodigestor y empezar un nuevo proceso. En biodigestores semicontinuos la materia orgánica se introduce en el biodigestor y tiene contacto directo con lodos que no fueron digeridos completamente en procesos anteriores, provocando

una reducción en el rendimiento de la producción del biogás, en comparación con anteriores biodigestores. (De la Merced, 2022).

METODOS Y MATERIALES

El análisis energético aplicado en este trabajo investigativo se basó en la prueba denominada Hervido de Agua, que consiste en realizar una combustión controlada al biogás obtenido para hervir agua y medir el tiempo que demora el agua para pasar de una temperatura inicial a su temperatura de ebullición y compararla en las mismas condiciones usando GLP. El objetivo principal de esta prueba es la medición de la eficiencia energética que se obtiene al compararlo con una cocina tradicional que usa GLP como combustible, para alcanzar este objetivo es prescindible medir el tiempo de ebullición, el volumen o peso de combustible usado, y temperaturas alcanzadas durante el proceso.

De acuerdo con los factores que intervienen en un biodigestor, se tiene como variables independientes la calidad y cantidad de biomasa, como variable dependiente el diseño del digestor y la producción del biogás, además se tiene variables externas relacionadas con emplazamiento del biodigestor. La metodología utilizada para la generación de energía a partir de un biogás fue establecida de acuerdo con los lineamientos señalados por (Campos-Cuni, 2011), enfocado en biodigestores económicos y de construcción sencilla. Este estudio sigue las siguientes fases:

Figura 2. Metodología



Elección del Lugar del Emplazamiento

La elección del emplazamiento, o lugar donde se llevará a cabo el proceso de transformación de la materia orgánica a biogás, es de gran importancia, pues en ello recae gran parte del éxito o fracaso del proceso. Para ello se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Debe encontrarse cerca al lugar donde los animales desechan sus residuos orgánicos, con el fin de reducir tiempos muertos de operación.
- Al mismo tiempo, la distancia al lugar donde se depositará los efluentes para la disposición final debe ser cercana, con el objetivo de mantener siempre un nivel de materia orgánica constante dentro del biodigestor.
- Evitar que la construcción y operaciones relacionadas a este proyecto se encuentren cerca de fuentes de agua, para no incurrir en problemas de contaminación ambiental.
- El biodigestor debe estar ubicado de manera que pueda recibir radiación solar, evitando vientos, y lluvias, con el fin de mantener una temperatura estable.

Preparación de la Muestra.

En esta etapa se procede a acondicionar la muestra para cumplir con el cálculo de la capacidad de mezcla que va al biodigestor, analizando los porcentajes de excremento de vaca y cerdo que se serán utilizados en la biodigestión y la cantidad de agua para la composición, realizando un premezclado para reducir tiempos de operación dentro del biodigestor.

Selección de Equipos y Accesorios.

La selección de los elementos es importante para la medición y control de los factores que inciden en el proceso anaeróbico, con el fin de optimizar el desarrollo del mismo, teniendo en cuenta que otro de los objetivos es la reutilización de materiales para evitar la generación de residuos, tal es el caso de la elección del contenedor del biogás.

Diseño.

El biodigestor debe cumplir parámetros de construcción necesarios que garanticen la hermeticidad y el correcto funcionamiento de los elementos del sistema dispuestos para su uso, teniendo en cuenta aspectos como, tamaño del biodigestor en base a las necesidades de producción de biogás o la cantidad de estiércol, material del biodigestor, tubería para el transporte, ubicación y almacenamiento.

Riesgos de la producción del biogás

Una parte importante en el diseño y construcción de un biodigestor es el empleo de biogás el cual presenta riesgos para su manejo, para ello se mostrarán algunas medidas de seguridad para evitar problemas:

- Riesgos por emisión de gases tóxicos.
- Riesgos de incendio.
- Riesgos de fuga.
- Riesgo de explosión.
- Peligro de contaminación al aire.
- Peligro de contaminación a fuentes de agua.
- Peligro de asfixia.
- Y peligros asociados al mantenimiento.

Generación de Energía

Finalmente, se cumple el objetivo de la producción energética mediante el uso de biodigestores experimentales para la producción de biogás, que resulta de la descomposición del estiércol animal, este biogás puede ser utilizado para la generación de energía eléctrica a través de turbinas para ser utilizado de manera local o insertarlo en la red eléctrica, otra de sus aplicaciones es la generación de energía térmica, en calefacción, agua caliente sanitaria y

vehículos propulsados por gas u otros sistemas que incorporen la combustión a gas. (Amante-Orozco, 2018)

La generación de energía térmica a partir de biogás incluye una combustión controlada del biogás, para la generación de calor, que puede ser utilizado en diversas aplicaciones, como calefacción, procesos industriales, e incluso la generación de vapor para el impulso de turbinas para generar energía eléctrica.

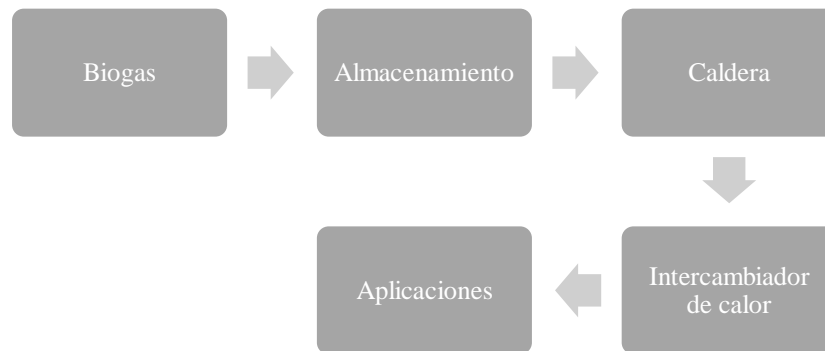


Figura 3. Descripción general de la transformación del biogás en Energía Térmica

Fuente: Elaboración propia

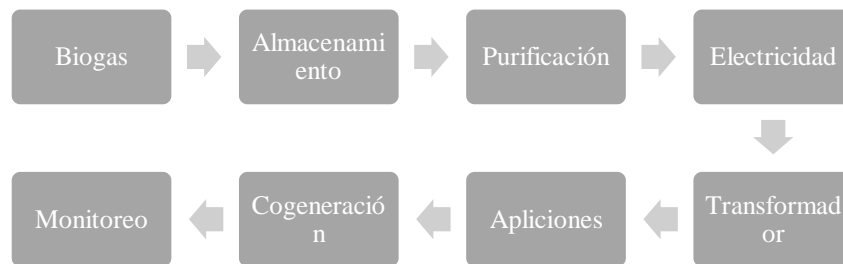
- Producción de biogás. Como se mencionó anteriormente el biogás se obtiene mediante la digestión anaerobia de material orgánico en un biodigestor.
- Almacenamiento del biogás. El biogás es almacenado y se somete a un proceso que elimina impurezas, como sulfuros, que pueden dañar los equipos, además este proceso permite ajustar la constitución del biogás aumentando la cantidad de metano.
- Caldera. En una caldera el biogás es quemado en presencia de oxígeno, liberando en el proceso agua y dióxido de carbono. La energía térmica liberada puede utilizarse para calefacción o para generar vapor.

- Intercambiador de calor. Para aplicaciones de calefacción, el calor generado en la etapa anterior se transfiere con la ayuda de un intercambiador de calor al medio que se desea calentar. Para generación de electricidad el calor se utiliza para calentar agua y producir vapor.
- Aplicaciones Térmicas. El calor generado en la tercera etapa puede utilizarse en calefacción o agua caliente sanitaria para sectores residenciales, comerciales o industriales.

La generación de electricidad a partir de biogás implica la conversión del biogás, que principalmente contiene metano (CH_4), en electricidad mediante el uso de un generador eléctrico.

Siguiendo el esquema presentado a continuación:

Figura 4. Descripción general de la transformación del biogás en Electricidad.



Fuente: Elaboración propia

La electricidad generada a partir del biogás puede utilizarse para alimentar instalaciones industriales, comerciales o residenciales, según la capacidad del sistema y la demanda de energía del entorno. En algunos casos, se implementa la cogeneración, donde se utiliza el calor residual producido durante la generación de electricidad para aplicaciones térmicas, como calefacción o producción de vapor. Esto mejora la eficiencia global del sistema. Los sistemas de generación de energía a partir de biogás requieren monitoreo y mantenimiento regulares para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro.

Análisis Situacional

En la búsqueda de fuentes energéticas sostenibles, se ve factible investigar y dar más importancia a la generación de energías de orígenes renovables como una solución versátil y respetuosa con el medio ambiente. Este artículo inicialmente parte del estudio y análisis de los desechos orgánicos, de origen animal (vacas, cerdos) para generar una fuente eficiente de producción energética, ya sea tipo mecánica, térmica o eléctrica, y a la par brinda una estrategia de disposición final a estos residuos (Amante-Orozco, 2018). Para ello, se procede a presentar los siguientes datos con el fin de obtener una estimación de la calidad de nuestro biogás. Para el estudio es necesario contar con la disponibilidad diaria de estiércol en kg y de acuerdo con el animal se obtuvo las siguientes cantidades:

Tabla 1.
Disponibilidad De Estiercol

Ganado	Kg/día
Porcino	42
Vacuno	62

Nota: Recolección diaria

Composición de Estiércol

La siguiente tabla muestra los datos de la composición de cada tipo de estiércol, este estudio fue realizado en base sólida, observando que el estiércol porcino posee mayor humedad que el estiércol vacuno.

Tabla 2.
Composición Del Estiércol

Ganado	% Humedad (%H)	% Sólidos Totales (%ST)	% Sólidos Volátiles (%SV)	% Carbono (%C)	% Nitrógeno (%N)	Relación C/N
Porcino	87	13	77	76	3.8	25
Vacuno	86	14	80	30.6	1.7	18

Cálculo del peso de Sólidos Totales

A partir de la siguiente ecuación se calcula el peso de los sólidos totales para vacunos:

$$W_{st} = W_r * ST$$

$$W_{st} = 62 * 0.14$$

$$W_{st} = 8.68 \frac{kg}{día} \text{ estiércol vacuno}$$

Donde:

W_{st} = Peso de los sólidos totales en el estiércol

W_r = Peso total del estiércol

ST = Fracción del peso de los sólidos totales en el estiércol

El mismo cálculo se aplica para porcinos:

$$W_{st} = W_r * ST$$

$$W_{st} = 42 * 0.13$$

$$W_{st} = 5.46 \frac{kg}{día} \text{ estiércol porcino}$$

Cálculo del peso del nitrógeno en la muestra

Mediante la siguiente ecuación se calcula el peso del nitrógeno para vacunos:

$$W_n = W_{st} * N$$

$$W_n = 8.68 * 0.017$$

$$W_n = 0.1475 \frac{kg}{día} \text{ Nitrogeno}$$

Donde:

W_n = Peso del nitrógeno

W_{st} = Peso de los sólidos totales en el estiércol

N = Fracción decimal del peso de nitrógeno del estiércol

Lo mismo ocurre en el caso de porcinos:

$$W_n = W_{st} * N$$

$$W_n = 5.46 * 0.038$$

$$W_n = 0.2075 \frac{kg}{día} \text{ Nitrogeno}$$

Cálculo del peso del carbono

Para vacunos

$$W_c = W_n * C/N$$

$$W_c = 0.1475 * 18$$

$$W_c = 2.655 \frac{kg}{día} \text{ carbono}$$

Dónde:

W_c = Peso del carbono

W_n = Peso del nitrógeno

C/N = Relación carbono/ nitrógeno

Para porcinos se tiene:

$$W_c = W_n * C/N$$

$$W_c = 0.2075 * 25$$

$$W_c = 5.1875 \frac{kg}{día} \text{ carbono}$$

Valores obtenidos

La siguiente tabla muestra un resumen de los valores calculados a partir de las muestras provenientes del estiércol de vacunos y porcinos.

Tabla 3.

Datos Obtenidos

Ganado	pH	Sólidos totales (kg/día)	Peso de nitrógeno (kg/día)	Peso de carbono (kg/día)	Relación C/N
Vacuno	6	8.68	0.1475	2.655	18: 1
Porcino	5	5.46	0.2075	5.1875	25:1

Fuente: Elaboración Propia

Biodigestor

El diseño de un biodigestor parte por la caracterización de los desechos orgánicos, provenientes del ganado (vacuno y porcino), y aspectos geográficos como ubicación del emplazamiento y condiciones geográficas del mismo, y el apego a cada una de las restricciones que se debe tener en cuenta para este tipo de proyectos.

Ubicación del proyecto:

Este proyecto se desarrolla en la Comuna San Pedro, ciudad de la Maná provincia de Cotopaxi.



Figura 5. Cantón La Maná (Planet Andes, 2023).

Condiciones meteorológicas y geográficas

Tabla 4.
Condiciones Metereológicas Y Geográficas

Variable	Valor	Unidad
Temperatura	20	°C
Humedad	72	%
Precipitación	600 a 2000	Mm
Altitud	220	msnm
Latitud	S0° 56' 27"	-
Longitud	W 79° 13' 25"	-

Nota: Tomado de Prefectura de Cotopaxi

Materiales

En la siguiente tabla se muestran los materiales utilizados durante todas las fases del proyecto, incluyendo la recolección del estiércol, elaboración del biodigestor, carga de material orgánico dentro del biodigestor, obtención de biogás, bioabono y biol.

Tabla 5.
Materiales

Material	Descripción	Cantidad
Tanque de polietileno o metálico	Capacidad: 60 Galones	1
Manguera	1''	1
Tubo neumático	Aro 15	1
Tapón PVC	4''	1
Balde plástico		1
Válvula de paso	3/4''	1
Manómetro	60 PSI	1
Llave inglesa		1
Cinta adhesiva		1
Papel indicador de pH		1
Balanza	> 50 KG de capacidad	1
Flexómetro		1

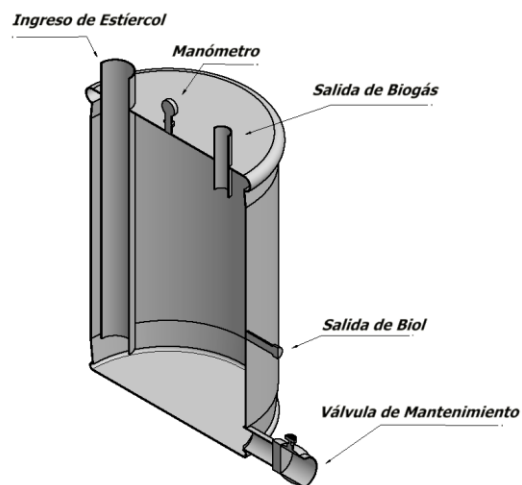
Nota: Elaboración Propia

Diseño de un biodigestor

Para el diseño del biodigestor se tomó en cuenta la cantidad de residuos orgánicos disponibles, en la figura 7 se puede observar el modelado 3D del biodigestor. La figura 6 muestra la vista lateral del biodigestor y las dimensiones detalladas expresadas en milímetros para una mejor exactitud al momento de replicar su construcción y la figura 9 indica una vista superior, así como el diámetro del biodigestor.

El diseño básicamente tiene la forma cilíndrica, el cual cuenta con dos orificios, el primero de 4 pulgadas que servirá para el ingreso de excremento al biodigestor y la altura de la tubería llega hasta la base, con una separación apropiada, logrando desplazar el contenido del interior a medida que sigue ingresado más cantidad de estiércol. El segundo orificio es de 2 pulgadas para la salida del biogás, con una profundidad muy corta para la fácil salida de biogás tal como lo indica la figura 6. Este método proporciona una total hermeticidad ante agentes externos y una mayor resistencia a diferencia de otros tipos de biodigestores de membranas o plásticos que por la manipulación pueden presentar grietas o hasta cortes que pueden ocasionar el escape del gas.

Figura 6. Componentes del Biodigestor



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Vista frontal del Biodigestor



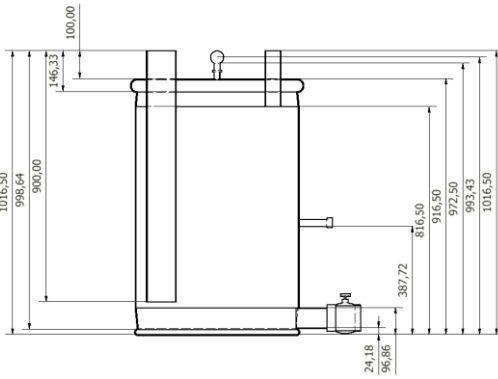
Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Vista frontal Tubo neumático



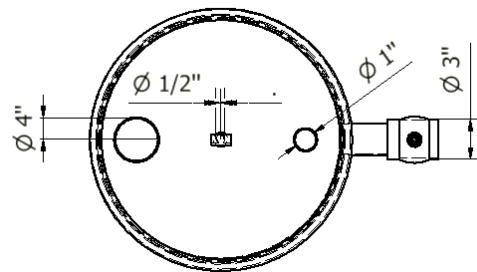
Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Dimensiones del Biodigestor



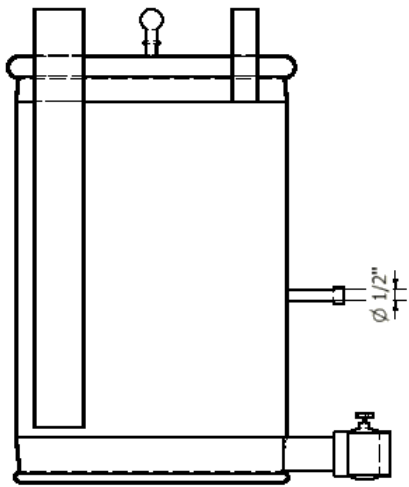
Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Diámetros de las tuberías



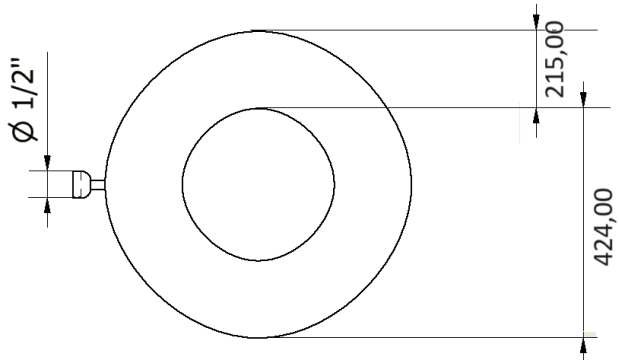
Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Diámetro de la tubería del Biol



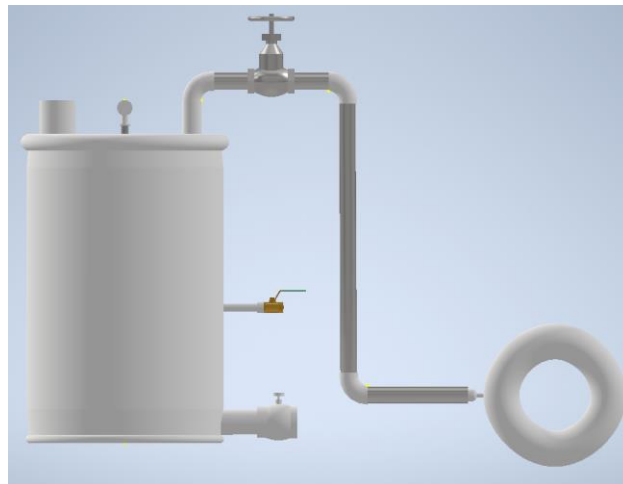
Fuente: Elaboracion propia

Figura 12. Dimensiones tubo neumático



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Sistema para la obtención de biogás, con biodigestor experimental



Fuente: Elaboración propia

Capacidad de carga del biodigestor

El cálculo de la capacidad de carga del biodigestor viene dado por la siguiente ecuación.

$$V_c = \pi * r^2 * h$$

$$V_c = \pi * (0.567 \text{ m})^2 * 0.87025 \text{ m}$$

$$V_c = 0.2197 \text{ m}^3$$

$$V_c = 58.0385 \text{ gal}$$

Dónde:

V_c = Volumen del cilindro

r^2 = radio del cilindro

h = altura del cilindro

El volumen del biodigestor tiene que incluir la cantidad de biomasa ingresada más un espacio destinado para el almacenamiento del gas de acuerdo con el biodigestor seleccionado, por tal motivo en este proyecto la capacidad de carga del biodigestor será inferior al 75 %. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018)

Digestión

En la etapa de digestión se consideran variables importantes para un correcto proceso de digestión anaerobia como: tiempo de retención, agitación, presión del biogás, temperatura y humedad ambiental. El control de temperatura se lo realizó con la ayuda de un termómetro infrarrojo, cada 10 días en las fechas mostradas en la tabla 6, mientras que el control de pH se aplicó en la mezcla previa al ingreso al biodigestor con ayuda de papel tornasol, en la biomasa vacuna y porcina.

Tiempo de retención de Biogás

El tiempo de retención de la biomasa de origen vacuno y porcino fue de 50 días, y el gas fue recolectado cada 10 días.

Tabla 6.

Periodo De Recolección

Días	Periodo
10	03/08/2023 - 12/08/2023
20	13/08/2023 – 22/08/2023
30	23/08/2023 – 01/09/2023
40	02/09/2023 – 11/09/2023
50	12/08/2023 – 21/08/2023

Nota: Recolección corresponde al ganado vacuno y porcino

Recolección de los residuos orgánicos**Carga del biodigestor**

La carga del material orgánico en el biodigestor se dio en relación 1:1 en ambos casos, con el fin de obtener una mezcla homogénea se realizó un mezclado en un recipiente externo para posteriormente ser vertido en el biodigestor y cerrar el orificio de entrada.

Tabla 7.

Estiercol Vacuno

Sustrato	gal	kg
Estiércol vacuno	20	62
Agua	20	75.7
Total	40	137.7

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8.
Estiercol Porcino

Sustrato	gal	kg
Estiércol porcino	20	42
Agua	20	75.7
Total	40	117.7

Fuente: Elaboración Propia

La cantidad de estiércol recolectado en ambos casos representa el 68% de la capacidad total del biodigestor, del cual se deja un 32% para la generación y almacenamiento del biogás. El biogás obtenido gracias al proceso de la digestión anaerobia se almacena en un contenedor mediante una manguera, que conecta el tubo de salida del biodigestor al contenedor. Dicho recipiente puede ser de un material similar al biodigestor como: cámaras de biodigestión o gasómetros e igualmente se pueden utilizar contenedores herméticamente sellados, fabricados a partir de vinilo, mantas encauchadas o envases de polietileno. En este proyecto se utilizó un tubo neumático de moto que, gracias a sus componentes permite la hermeticidad necesaria.

Cuantificación del biogás obtenido

Gracias a la versatilidad del tubo neumático, la cuantificación del volumen del biogás obtenido se lo puede calcular mediante un proceso simple, diferencia de volúmenes, sumergiéndolo en un volumen de agua y midiendo la diferencia de éste de su estado inicial.

Residuos

Al terminar el proceso de digestión, el efluente obtenido puede ser utilizado como bioabono, para ello es necesario un estudio químico que revela el porcentaje de Nitrógeno, Potasio, y Fósforo, conocidos como macronutrientes fundamentales para la flora. Al residuo obtenido se lo conoce como bioabono, y se lo puede aplicar en suelos semiáridos y en vegetación, con una mezcla en agua de 3 partes de agua y una de bioabono.

Análisis Ambiental y Energético

El uso de biodigestores no presenta inconvenientes en su funcionamiento, por lo cual un análisis ambiental y energético del proceso sólo presenta las ventajas que conlleva la aplicación de esta metodología. En el aspecto ambiental un biodigestor permite una producción natural de gas, que al tener un elevado poder calorífico, evita o disminuye la extracción de combustibles fósiles. Permite un uso eficiente a residuos orgánicos, en este caso estiércol, evitando su acumulación en vertederos a cielo abierto, que pueden contaminar fuentes de agua con nitratos que son compuestos dañinos para la salud. En el aspecto energético puede usarse para la producción de energía eléctrica, energía térmica como combustible de alta calidad.

Otra acción importante al implementar este sistema de biodigestores es que se disminuye considerablemente la acumulación de desechos orgánicos de animales (excremento), en este caso de cerdos y vacas, reduciendo también no solo la emisión de olores desagradables, sino que además se evita la proliferación y propagación de virus y bacterias que ocasionan daños en la salud del ser humano al estar en contacto directo entre personas y animales.

La instalación de los biodigestores casi en su mayor porcentaje es implementados en el sector rural debido a que no existe fuentes de evacuación de desechos, por esta razón se contamina muchos factores del medio y principalmente del agua, ya que en distintas circunstancias todos estos residuos de origen humano y animal son vertidos en ríos que además de ser contaminadas sus aguas, también contaminan a plantas y animales a su alrededor. Con la ejecución del sistema se puede evitar este tipo de contaminación que a la larga trae beneficios para la salud humana y el ecosistema.

En la parte económica, las ventajas son muy altas debido a que la instalación de estos biodigestores no representa una fuerte inversión, no requiere personal calificado para la instalación, no requiere extensos estudios, no requiere espacio físico de gran consideración ni materiales costosos, al contrario, su instalación es muy sencilla y los materiales son de fácil

acceso. Por otra parte hablando en tema de obra civil en el sector Rural son una muy buena opción cuando no se cuenta con un sistema de alcantarillado. En resumen, el costo beneficio de la construcción de un biodigestor para la producción energética es muy conveniente al momento de comparar con otros métodos de generación de energía como lo es la fotovoltaica, eólica, hídrica, etc.

Consumo de biogás

Se lo obtiene dividiendo el peso del biogás utilizado (kg), y el tiempo en que el agua alcanza los 100°C, el peso del biogás se lo calcula gracias a la facilidad de manejo del tubo neumático de llanta.

$$\text{Consumo Biogás} = \frac{\text{Peso del Biogás (kg)}}{\text{Tiempo de ebullición}}$$

Para el consumo de biogás proveniente de estiércol vacuno, se tiene:

$$\text{Consumo Biogas (vacuno)} = \frac{0.15 \text{ kg}}{0.075 \text{ h}}$$

$$\text{Consumo Biogás (vacuno)} = 2 \text{ kg/h}$$

Mientras para el proveniente de estiércol porcino:

$$\text{Consumo Biogas (porcino)} = \frac{0.114 \text{ kg}}{0.072 \text{ h}}$$

$$\text{Consumo Biogás (porcino)} = 1.587 \text{ kg/h}$$

Consumo de GLP

$$\text{Consumo GLP} = \frac{\text{Peso del tanque de GLP (kg)}}{\text{Tiempo de ebullición}}$$

$$\text{Consumo GLP} = \frac{0.119 \text{ Kg}}{0.003 \text{ h}}$$

$$\text{Consumo GLP} = 3.06 \text{ kg/h}$$

Análisis de resultado

Ganado Vacuno

La producción de biogás proveniente de ganado vacuno se muestra en la siguiente tabla, teniendo en cuenta que la recolección ocurrió cada diez días, en un periodo de 50 días, y en adición muestra las variables de producción que intervinieron en la producción del gas a partir de estiércol vacuno.

Tabla 9.

Producción De Biogás Vacuno

Periodo	Tiempo de retención	Presión (PSI)	Temperatura	biogás (m ³)
03/08/2023 - 12/08/2023	10	16	19.1	0.005
13/08/2023 – 22/08/2023	20	17	18.5	0.001
23/08/2023 – 01/09/2023	30	17	19.5	0.012
02/09/2023 – 11/09/2023	40	23	21.5	0.0132
12/08/2023 – 21/08/2023	50	19	20.7	0.009
Resultados		18.4	19.8	0.04002

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con las variables y condiciones ambientales, que actúan en la generación del biogás obtenido a partir del estiércol, los resultados obtenidos en este proyecto son: peso del estiércol vacuno 62 kg, con una relación de mezcla de 1:1 en volumen, estiércol – agua, un pH levemente ácido 6, temperatura media de 19.8 °C, humedad de 76.35 %, la presión media en el interior del biodigestor fue de 18.4 psi, con una retención de biogás de 50 días. La cantidad de gas obtenido es de 0.04002 m³.

Tabla 10.

Producción De Biogás Vacuno

Variable	Valor	Unidad
Peso de Estiércol	62	Kg
Volumen de Estiércol	20	gal
pH	6	-
Temperatura	19.8	°C
Humedad	76.35	%
Presión	18.4	psi
Tiempo de retención	50	día
biogás producido	0.04034	m ³

Fuente: Elaboración Propia

Ganado Porcino

En comparación, la producción de biogás proveniente de ganado porcino representa un mayor porcentaje que el producido por el ganado vacuno, teniendo en cuenta que la recolección ocurrió cada diez días, en un periodo de 50 días. La siguiente tabla muestra las variables de producción que intervinieron en la producción del gas a partir de estiércol porcino.

Tabla 11. Producción De Biogás Porcino

Periodo	Tiempo de retención	Presión (PSI)	Temperatura	Biogás (m ³)
03/08/2023 - 12/08/2023	10	16	19.2	0.0068
13/08/2023 – 22/08/2023	20	18	18.9	0.0083
23/08/2023 – 01/09/2023	30	21	19.7	0.012
02/09/2023 – 11/09/2023	40	24	21.8	0.0142
12/08/2023 – 21/08/2023	50	17	21.3	0.0095
Resultados		19.2	20.2	0.0508

Fuente: Elaboración Propia

Resultados: De acuerdo con las variables y condiciones ambientales, que actúan en la generación del biogás obtenido a partir del estiércol, los resultados obtenidos en este proyecto son: peso del estiércol porcino 42 kg, con una relación de mezcla de 1:1 en volumen, estiércol – agua, un pH levemente ácido 5, temperatura media de 20.2 °C, humedad de 75.23 %, la presión media en el interior del biodigestor fue de 19.2 psi, con una retención de biogás de 50 días. La cantidad de gas obtenido es de 0.0508 m³.

Tabla 12.

Producción De Biogás Porcino

Variable	Valor	Unidad
Peso de Estiércol	42	Kg
Volumen de Estiércol	20	gal
pH	5	-
Temperatura	20.2	°C
Humedad	75.23	%
Presión	19.2	psi
Tiempo de retención	50	día
Biogás producido	0.0508	m ³

Fuente: Elaboración Propia

La producción de biogás de origen porcino representa el 55.74 % y el 44.26 % a biogás de origen vacuno, del total de la generación, con estos datos se puede asumir que una menor cantidad de estiércol puede generar una mayor cantidad de biogás, teniendo en cuenta la dieta alimenticia de cada animal.

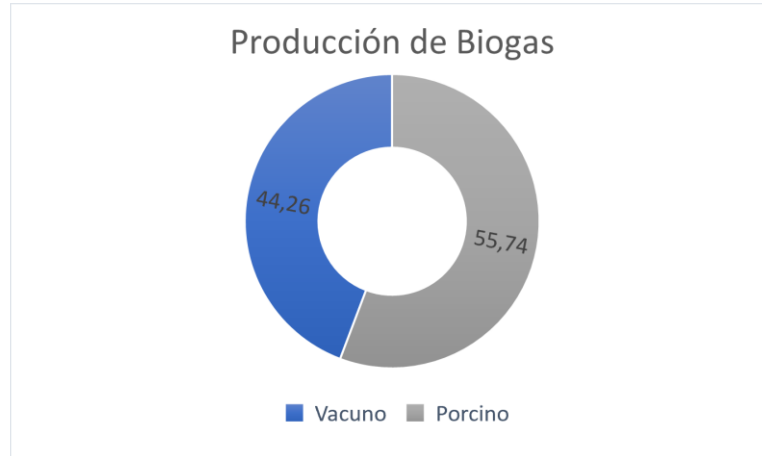


Figura 14. Producción de biogás expresado en porcentaje

En la figura 15, se muestra la producción de biogás expresado en metros cúbicos, en la cual se observa que en el día 30 se generó un mayor volumen con 0.0142 m^3 proveniente del estiércol porcino frente a 0.0132 m^3 proveniente del estiércol vacuno. Por el contrario, el día con menor producción de gas proveniente de estiércol porcino corresponde al día 10 con 0.0068 m^3 , mientras que para la menor producción de biogás por parte del estiércol vacuno fue el día 20 con 0.001 m^3 .

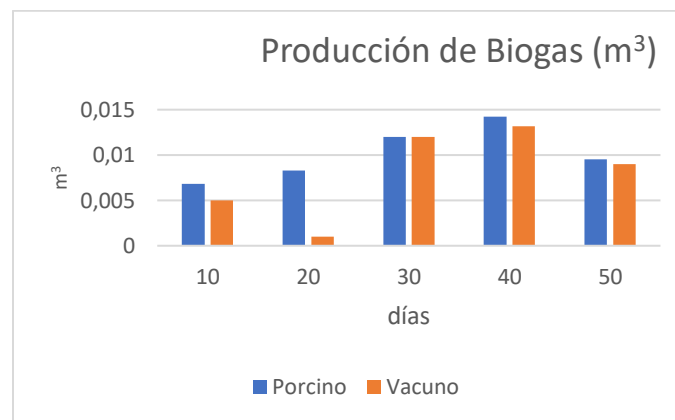


Figura 15. Producción de biogás, expresado en m^3

Consumo de gas

En la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos en la prueba de Hervido de agua, en la cual se puede observar que, el biogás procedente del estiércol porcino, consigue llevar a ebullición un litro de agua en menor tiempo que el biogás proveniente de estiércol vacuno.

Tabla 13.
Consumo De Gas

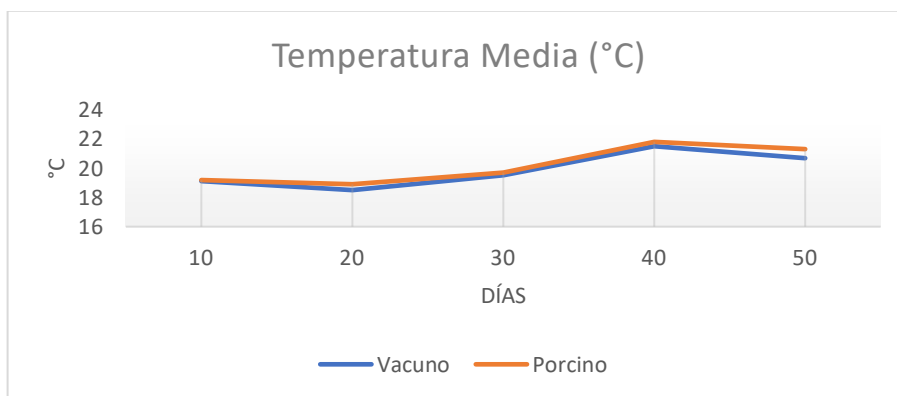
	Peso del gas usado (kg)	Tiempo de ebullición (h)	Consumo (kg/h)
Vacuno	0.15	0.075	2
Porcino	0.114	0.072	1.58
GLP	0.118	0.039	3.06

Nota: Datos obtenidos al hervir un litro de agua, a partir de la estufa apagada

Temperatura ambiente

En la figura 16, se muestra la temperatura ambiental promedio, durante los días de retención de la biomasa para las muestras vacunas y porcinas. En la cual se puede distinguir un pico para el día 40 con una mayor temperatura para el biogás proveniente del estiércol porcino con 21.8 °C y la menor para la proveniente del estiércol vacuno con 18.5 °C.

Figura 16. Temperatura Ambiental Media (°C)



Presión

Como se puede observar en la figura 17, la presión dentro del biodigestor en el día 40, muestra un ligero aumento con respecto a los días previos y a partir del siguiente día la presión tiende a la baja, en el biogás proveniente del estiércol porcino tuvo una presión máxima de 24 PSI, y en el biogás proveniente del estiércol vacuno alcanzó una presión de 23 PSI.

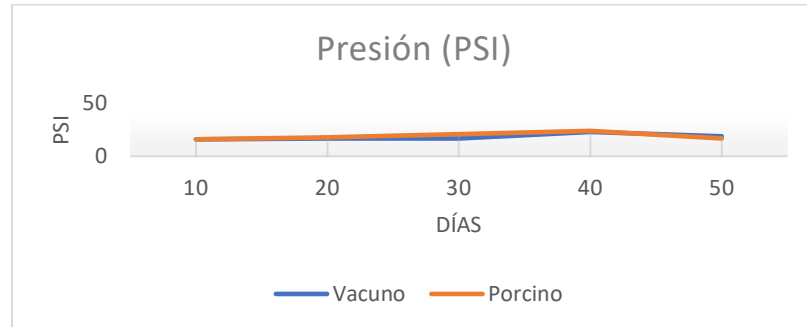


Figura 17. Presión en el Biodigestor

Conclusiones

Al trabajar según datos de las tablas 7, 8, 9 y 10 en un ambiente controlado, se tiene una recolección de 62 kg de estiércol vacuno y 42 kg de estiércol porcino, se tiene: Experimentalmente, del volumen total del biodigestor se llegó a obtener un 68 % ocupado por la mezcla de estiércol y agua, mientras que la producción de biogás ocupó un 32% del volumen, estos datos alcanzaron medidas que se pronosticaron.

Teniendo en cuenta la producción de biogás, durante los 50 días de retención de la biomasa, se puede concluir que en el día 40 se obtiene una mayor producción, y a partir del día siguiente se ocasiona una menor producción, es decir para el día 40 se ha alcanzado el punto máximo de producción. Cabe mencionar que para la técnica de generación de biogás no se utilizó un método continuo, sino por el contrario se trató de sacar la máxima ganancia de una sola dosificación.

La ubicación geográfica tiene mucha participación al momento de la biodigestión, ya que al encontrarnos en un clima cálido favorece notablemente a la producción. La producción de Biogás a partir de estiércol porcino fue un 11.47% mayor que el biogás obtenido a partir de estiércol vacuno, teniendo en cuenta que se trabajó con mayor cantidad de estiércol vacuno, se puede concluir que la eficiencia del estiércol porcino es mayor.

Como se muestra en la figura 14, el estiércol porcino debe tener un mayor tiempo de retención de material orgánico, pues con el mismo tiempo que el vacuno produjo mayor cantidad de biogás. En la parte económica resulta muy factible la implementación artesanal de un biodigestor, respecto a un comercial. En un biodigestor comercial el productor tiene que registrarse a las especificaciones técnicas del fabricante, mientras que si el biodigestor es de elaboración propia el productor se puede adaptar a necesidades que se pueden presentar en la granja ya sean mayores o menores, teniendo en cuenta el precio es más costoso un biodigestor comercial.

Recomendaciones

Para obtener mejores resultados en futuras investigaciones se recomienda trabajar desde la alimentación del ganado con una dieta apropiada y así obtener un estiércol óptimo en la generación de biogás. También es necesario contar con un número exacto de animales y tener un registro detallado en cuanto a la recolección de excremento, para con esto generar un base de datos que permita mejorar la producción teniendo en cuenta factores como el clima y el mantenimiento del biodigestor. La dosificación del excremento también es muy indispensable al momento de la digestión anaeróbica, por tal motivo sería importante contar con un sistema interno para la mezcla del estiércol, este método de agitación disminuirá los tiempos de producción del biogás y evitar la formación de sólidos en el fondo del contenedor. Recordemos que la mezcla interna se realiza de forma manual con un mixer que se ingresa desde la tubería de abastecimiento hasta llegar al fondo del contenedor, esta acción requiere de un gran esfuerzo y una buena estrategia sería automatizar este proceso con la utilización de un taladro.

Mediante el análisis bibliográfico y la corta experimentación se llegó a determinar qué durante periodos largos de funcionamiento del sistema existe meses en los cuales la producción de biogás aumenta y disminuye, esto debido a muchos factores como el número de reses y cerdos, subidas y bajadas de temperatura, cantidad de ingrediente para el proceso de digestión anaeróbica como la falta de agua, etc. Todo este tipo de inconvenientes repercute en el objetivo principal de esta investigación, por lo cual una solución para la escasez y sobreproducción es tener suficientes fuentes de almacenamiento que permitan cubrir la demanda de biogás en momentos de alto o bajo requerimiento, ya sea que no se utilice el biogás o se necesite más de lo normal para ciertas actividades no programadas, contando con varios neumáticos para la acumulación de biogás.

La mejor protección ante cualquier circunstancia es la prevención y sabiendo que se está trabajando con materiales altamente volátiles se debe tener todas las medidas de seguridad y protección contra incendios. Disponer principalmente de un equipo contra quemaduras como un extintor para apagar llamas, botiquín de primeros auxilios, válvulas de seguridad para cortar el flujo y suministro de gas, vías de evacuación ante emergencias y tener siempre la garantía de trabajar a la defensiva. Los efluentes obtenidos después del proceso de digestión anaerobia deben someterse a estudios microbiológicos realizados por laboratorios que certifiquen su uso como fertilizantes. Así se puede dar un correcto y apropiado uso a subproductos originados por el sistema. Esta acción maximiza la eficiencia del biodigestor ya que aumenta los beneficios para el ambiente. Con todos los cuidados necesarios un biodigestor comercial puede tener una vida útil promedio de 30 a 50 años y un biodigestor artesanal se estima que, en promedio, según sea su utilización puede llegar a tener una vida útil que va desde los 6 a 20 años dependiendo también mucho de la capacidad y del tipo de material que está fabricado el biodigestor. Por tal motivo los construidos de hormigón son los más duraderos.

Referencia Bibliográfico

- Amante-Orozco, A. (2018). Biodigestor móvil para la producción de biogás utilizando estiércol de ovino. *Agro Productividad*, 10(12), 107.
- Barasa, M., & Olan, O. (s.f.). Biogas Production and Applications in the Sustainable Energy Transition. *Hindawi*, 2022(1), 43. <https://doi.org/8750221>
- Barragan, R., & Llanes, E. (2020). La generación de energía eléctrica para el desarrollo industrial en el ecuador a partir del uso de las energías renovables. *ELECTRIC INGEENIERING*, 24(104), 11. <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/364/759>
- Campos-Cuni, B. (2011). Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2), 37-41.
- Cerón, A., Cácers, K., Rincón, A., & Cajigas, Á. (2019). Influencia del pH y la relación C/N sobre la producción de biogás de aguas residuales. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(92), 88-95. Retrieved 25 de Octubre de 2023, from [http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/31560](https://doi.org/10.17533/De la Merced, D. (2022). EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UN. Tesis maestría, Universidad Veracruzana, Veracruz. Retrieved 05 de Octubre de 2023, from <a href=)
- El-Mashad, H., & Zhang, R. (2020). Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. *Bioresource Technology*, 101(11), 4021-4028. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.027>
- Enerdata. (2023). *Energía y clima mundial - Anuario estadístico 2023*. Retrieved 27 de 11 de 2023, from <https://datos.enerdata.net/energia-total/datos-consumo-internacional.html>
- Gil, L., Leiva, F., Lezama, M., Bardales, C., & León, C. (336-345 de Agosto de 2023). Biofertilizante “biol”: caracterización física, química y microbiológica. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7(20). <https://doi.org/2664-0902>
-

- Hidalgo Osorio, W., Vasquez Carrera, P., Corrales Bonilla, J., & Alcocer Salazar, F. (2023). Obtención de biogás y biol como fuente de energía renovable de biodigestores experimentales en el en laUTC extensiónLa Maná. *MAGAZINE DE LAS CIENCIA*, 8, 25.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (2014). Caracterización y propiedades de los suelos. *INIA*(298), 113-131. <https://doi.org/ISSN 0717-4829>
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (Abril de 2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *Idesia*, 24(1), 49-61. Retrieved 20 de Noviembre de 2023, from <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Li, Y., Jing, Z., Pan, J., Luo, G., Feng, L., Jiang, H., . . . Liu, H. (Mayo de 2022). Multi-omics joint analysis of the effect of temperature on microbial communities, metabolism, and genetics in full-scale biogas reactors with food waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160(2022). <https://doi.org/112261>
- Lozano, M. (2018). Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato. *ova Scientia*, 7(15), 96-115. <https://doi.org/ISSN 2007-0705>
- MINENERGIA. (2018). *Manual de Biogas*. Manual. <https://doi.org/ISBN 978-95-306892-0>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (18 de Junio de 2021). *Biodigestores: los residuos como generadores de energía*. Retrieved 2023 de 11 de 05, from <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/accion/biodigestores>
- Montenegro, R. (2020). *Producción de biogás y bioabonos a partir de estiércol de bovino en biodigestor tubular en Naranjos, Bagua, Amazonas*. Tesis pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyás. Retrieved 5 de Octubre de 2023, from <https://hdl.handle.net/20.500.14077/2072>
-

- Planet Andes*. (2023). Retrieved 20 de Noviembre de 2023, from <https://www.planetandes.com/es/ecuador/andes/cotopaxi/mapa-turistico-atracciones-latacunga-cotopaxi-ecuador/>
- Punto Suelo. (Agosto de 2023). *Punto Suelo*. (Punto Ganadero) Retrieved 25 de Noviembre de 2023, from <https://puntoganadero.cl/punto-suelos/s-inicio>
- Rafiee, A., Khalilpour, K., Prest, J., & Skryabin, I. (Enero de 2021). Biogas as an energy vector. *Biomass and Bioenergy*, 144(1). <https://doi.org/105935>
- Santosh, Y., Sreekrishnan, T., Kohli, S., & Rana, V. (Octubre de 2020). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques. *Bioresource Technology*, 95(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.010>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores. *FIRCO*, 17-19.
- Serna, J. (2023). *Tratamiento de residuos derivados del procesado de café y plátano mediante biometanización y compostaje*. Tesis doctoral, Universidad de Córdoba, Córdoba. Retrieved 10 de Noviembre de 2023, from <http://hdl.handle.net/10396/25165>
- Tangri, N., Viella, M., Moon, D., & Naayem, N. (Octubre de 2022). De basura cero a cero emisiones. *Global Alliance for Incinerator Alternatives*, II(2), 10-35. <https://doi.org/www.doi.org/10.46556/MSTV3095>
- VASQUEZ, E. (2021). *Diseño de un agitador mecánico para mejorar la producción de biogás de un biodigestor semi continuo en la I.E.P.C. Bereshi - Chimbote*. Tesis pregrado, Universidad San Pedro, Chimbote. Retrieved 10 de Octubre de 2023, from <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/20.500.129076/20108>
- Zhang, R., El-Mashad, H., Hartman, K., Wang, F., Liu, G., Choate, C., & Gamble, P. (2018). Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresour Technol*, 98(4), 929-935. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.039>
-

