

# Design and Construction of a Biodigester for the Production of Biogas from Cattle Manure

Melany Cantos Ruíz<sup>1</sup>, Daniel Arévalo Moreta<sup>1</sup>, Katherine Monserrate Figueroa<sup>1</sup>, Kenia Vera Quevedo<sup>1</sup>, y Daniel Caamano-Gordillo, MS c<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, mcantosr@est.ups.edu.ec, Lcaamano@ups.edu.ec

*Abstract - Ecuador faces a growing waste management problem due to population growth, with ineffective proposals for landfill expansion that worsen contamination. Therefore, the purpose of the project is to design and build a prototype biodigester on a smaller scale to take advantage of organic waste and produce biogas, a clean and renewable energy source, achieved with the application of formulas and methods to calculate the appropriate amounts in each of the tests in order to achieve successful results in biogas production.*

*Keywords- Biodigester, biogas, fuel, organic waste, renewable energy, prototype.*

**Digital Object Identifier:**(only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:**(to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Diseño y Construcción de un Biodigestor para la Producción de Biogás a partir de Estiércol Vacuno

Melany Cantos Ruíz<sup>1</sup>, Daniel Arévalo Moreta<sup>1</sup>, Katherine Monserrate Figueroa<sup>1</sup>, Kenia Vera Quevedo<sup>1</sup>, y Daniel Caamano-Gordillo, MS c<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, mcantosr@est.ups.edu.ec, Lcaamano@ups.edu.ec

**Resumen - Ecuador enfrenta un creciente problema de gestión de residuos debido al crecimiento demográfico, con propuestas ineficaces de ampliación de vertederos que empeoran la contaminación. Por lo tanto, el propósito del proyecto es diseñar y construir un prototipo de biodigestor a menor escala para aprovechar los residuos orgánicos y producir biogás, una fuente de energía limpia y renovable, lo que se logra con la aplicación de fórmulas y métodos para calcular las cantidades adecuadas en cada una de las pruebas con el fin de lograr resultados exitosos en la producción de biogás.**

**Palabras clave- Biodigestor, biogás, combustible, residuos orgánicos, energía renovable, prototipo.**

## I. INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país con alta generación de residuos, que se ha vuelto inmanejable debido al aumento de la población, lo que apunta a la necesidad de establecer nuevas alternativas para el manejo de los residuos. Para ello se han realizado diferentes propuestas para reducir el problema, Costales [1] determinó que una manera consiste en ampliar el espacio y establecer nuevos depósitos para seguir albergando los residuos, pero estas alternativas que lejos de mitigar el problema aumentan el número de personas afectadas por gases tóxicos y lixiviados de residuos.

Otra alternativa que puede aprovechar los residuos generados por los hogares en Ecuador es el biodigestor, que produce biogás que se puede utilizar para cocinar alimentos y calentar agua después del proceso de digestión anaeróbica.

Si bien en la región se han realizado varios proyectos destinados a la construcción de biodigestores, estos proyectos no se concentran en el ámbito doméstico, Cusi [2] ha demostrado que se aplican a biodigestores de pequeña escala que utilizan estiércol de vaca en el campo, como el proyecto de Palacios en Perú y Cusi en Ecuador.

Estos datos conducen al propósito fundamental del proyecto que es proteger el medio ambiente mediante el diseño y construcción de un sistema compuesto por biodigestores. Utilizan los residuos orgánicos de los mataderos: una mezcla de sólidos (estiércol de vaca) y líquidos (agua) para producir energía limpia y proteger los ecosistemas.

Como se mencionó anteriormente los biodigestores utilizan la materia orgánica de los desechos para producir gas a través de un proceso anaeróbico. En investigaciones de Posada [3], menciona que los residuos orgánicos, agrícolas y de animales son considerados recursos de biomasa que se transforman para obtener bioenergéticos. Del digestor de biogás construido en el proyecto, el 70% se utilizan como carga y el resto se utiliza para producir fertilizantes orgánicos.

Rodríguez [4] argumenta que, los biodigestores pueden reducir el impacto negativo del estiércol animal, que libera gases como el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) de la fermentación de la celulosa y el almidón, causando una grave contaminación al medio ambiente y contribuyendo al calentamiento global. Como lo muestra Kaiser [5], donde propuso que la digestión anaerobia es una de las soluciones de tratamiento de residuos orgánicos que puede utilizar la biomasa como fuente de energía renovable. Los compuestos de alta energía resultantes se pueden utilizar para generar calor o electricidad.

Los sistemas más populares del mundo utilizan tecnologías más simples diseñadas para uso doméstico, que Cabrera [6] lo demuestra y se practican principalmente en países en desarrollo donde los materiales para construir biodigestores están fácilmente disponibles.

Ferrer [7] dice que en países como Asia, China, India y Nepal están a la vanguardia en la construcción de digestores de biogás a escala doméstica utilizando su densidad de población y la generación de desechos a través de biodigestores.

El concepto principal de Samayoa [8], comenta una posibilidad de generar energías térmicas o eléctricas por medio de la fermentación anaeróbica de los biodigestores. Estos tipos de energía son más limpios y se pueden usar en hogares, negocios o granjas comunitarias. Para el diseño de un biodigestor se debe considerar la cantidad de residuos o desechos orgánicos producidos, las propiedades del sustrato y su posible ubicación.

Existen varios elementos que se tomaron en cuenta para determinar el tipo de biodigestor a utilizar, un estudio desarrollado por Fabricio [9] indica que para un biodigestor funcione correctamente, se debe considerar lo siguiente:

**Digital Object Identifier:**(only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:**(to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

- La diferencia de temperatura que permite que la materia orgánica se descomponga y posteriormente produzca biogás.
- El ciclo de vida de las bacterias transcurre en tres etapas, por lo que el biodigestor debe cargarse diariamente.
- Debe estar en el lugar de proximidad, evitando así la caída de bacterias.
- Si el sustrato está muy seco, será necesario agregar agua adicional a la mezcla.
- Cuando las heces estén muy líquidas, reduzca la cantidad de agua.

Considerando a Miner [10] menciona, el siguiente proyecto estará enfocado en el estudio, implementación y experimentación del estiércol vacuno para la generación del biogás. Zuluaga [11] evidenció que teniendo como finalidad descubrir la forma de obtención y el método correcto para la generación de este combustible. Con los resultados obtenidos se puede adquirir una fuente de energía considerada amigable con el medio ambiente.

## II. MÉTODOS

Para un resultado asertivo y real del proyecto se realizaron tres pruebas las cuales fueron expuestas a diferentes condiciones, como lo fueron diferencias en las cantidades de materia fecal y agua. Adicionalmente, se empleó la siguiente fórmula obtenida, por ejemplo, consulte [12], con el propósito de utilizarla como referencia para adecuar fórmulas según los requerimientos del ensayo:

$$VT = CDT \times 0,75 \quad (1)$$

*Ecuación 1. Ecuación del Volumen de Trabajo*

En donde:

VT: Es el volumen de trabajo de la mezcla.

CDT: Es la capacidad deseada del tanque representado en litros de la materia fecal.

0,75: Es el espacio límite a ocupar con la mezcla.

Sin embargo, antes de utilizar la anterior fórmula, en Ošljaj [13] hace referencia que es prescindible que se calcule la cantidad máxima que se debe depositar en el biodigestor de la mezcla de ambas sustancias, la cual se la conoce utilizando la siguiente fórmula:

$$CT = CTT \times 0,75 \quad (2)$$

*Ecuación 2. Cantidad máxima para trabajar*

En donde:

CT: Es la cantidad máxima o total para trabajar.

El CTT: Capacidad total del tanque representado en litros.  
0,75: Es el espacio límite a ocupar con la mezcla.

Posterior a esto se procede a utilizar la fórmula descrita a continuación para conocer los litros de agua que se va a utilizar en el biodigestor.

$$CTA = CT - VTF \quad (3)$$

En donde:

CTA: Es la cantidad total de litros de agua.

VTF: Es el volumen de trabajo (materia fecal).

CT: Es la Cantidad máxima o total.

Por último, se requiere una forma con la cual se pueda calcular y obtener el volumen del gas metano (CH<sub>4</sub>) por prueba, por lo que se optó por elegir la ecuación de estado de gas ideal:

$$PV = nRT \quad (4)$$

Despejando el volumen, quedaría de la siguiente manera:

$$V = \frac{n \times R \times T}{P} \quad (5)$$

Donde:

V: Volumen.

n: # de moles.

R: Constante de gases ideales.

T: Temperatura dada.

P: Presión.

Debido a que se desea obtener volumen por prueba mas no por días de prueba, se calculará el promedio de la constante de presión, este ejercicio, fue consultado [14] y menciona que en la constante  $R$  siempre se va a mantener el valor de  $10.728 \frac{ft^3 \cdot psi}{R} lb - mol$  para todas las pruebas, de la misma manera, el valor de  $n$  será de  $0.035362 lb - mol$ .

Por último, dentro de la ecuación 5 no se puede calcular con °C, por lo que se debe convertir con la siguiente ecuación

$$^{\circ}R = (1,8 \times ^{\circ}C) + 491.67 \quad (6)$$

Por otra parte, tomando en cuenta los estudios recientes de Dido [15] y como se ha ido mencionando anteriormente, este prototipo fue direccionado al objetivo de la utilización en su totalidad de materiales con alto índice de reciclaje, permitiendo así un mejor manejo de residuos y logrando que su limpieza sea lo más práctica posible, evitando la alta emisión de olores y minimizando la contaminación generada.

Los materiales a utilizar son los siguientes:

- Una caneca de pintura (36,5 cm o de 5,2 galones) con su respectiva tapa (30,4 cm), totalmente vacío, sin ningún tipo de residuos.
- Un envase de plástico, 14 cm.
- Tres mangueras de gas de diferentes tamaños; 38 cm, 62,5 cm y 62,5 cm.
- Dos tapones de tubería, 5,2 cm y 6,3 cm.
- Tres tubos; 9,6 cm, 35,5 cm y 41 cm.
- Dos adaptadores, 8 cm y 6,5 cm.
- Tres codos: 3 cm, 3 cm y 7 cm.
- Una unión de cobre, 6 cm.
- Una unión de tubo plástico, 12cm.
- Dos llaves de paso, 10 y 9,5 cm.
- Una electroválvula.
- Un manómetro.
- Un termómetro.
- Conexión eléctrica.
- Cinta aislante eléctrica color negro.
- Dos paquetes de pega tanque de 44 CC.

Material orgánico

- Estiércol vacuno, debe ser fresco evaluando lo que dice Schirmer [16].

El método aplicado en el proyecto se dividió en:

A. *Diseño y Construcción del Biodigestor*

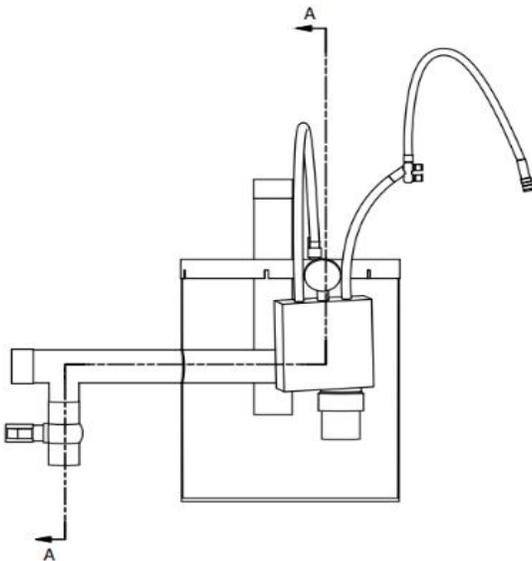


Fig. 1. Modelo del biodigestor ensamblado en Inventor.

Varnero [17] explicó que el diseño de un prototipo para que no exista ningún tipo de fugas ni de contenido líquido o del gas, una vez realizado el bosquejo o esquema del prototipo, se

procedió a realizarlo de manera digital en el Autodesk Inventor Software, en donde cada una de las piezas fueron creadas acorde a sus dimensiones.

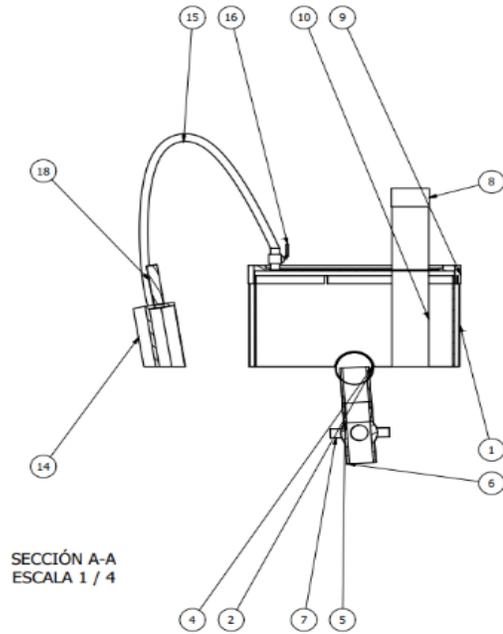


Fig.2. Sección A-A en escala 1/4 del modelo ensamblado en Inventor, con las piezas/partes enumeradas.

TABLA I  
LISTA DE PIEZAS DEL BIODIGESTOR

Lista de piezas del biodigestor			
Elemento	Cantidad	Pieza	Descripción
1	1	Balde de biodigestor	Depósito de heces
2	2	Codo 1	
3	1	Tubo de empate con codo	Salida principal
4	1	Tubo PVC	
5	1	Unión roja	
6	1	Llave de paso	
7	1	Manivela	
8	2	Tapón 1	
9	1	Tapa de balde	
10	1	Tubo PVC	Entrada de la biomasa
14	1	Condensador de gas	
15	1	Manguera 1	
16	1	Llave de paso metal	
17	1	Manguera 2	
18	1	Manómetro	
19	1	Electroválvula	
20	1	Manguera 1.0	
21	1	Adaptador	
22	1	Boquilla	

Posteriormente se realizó el ensamblaje real/físico, quedando de la siguiente manera:

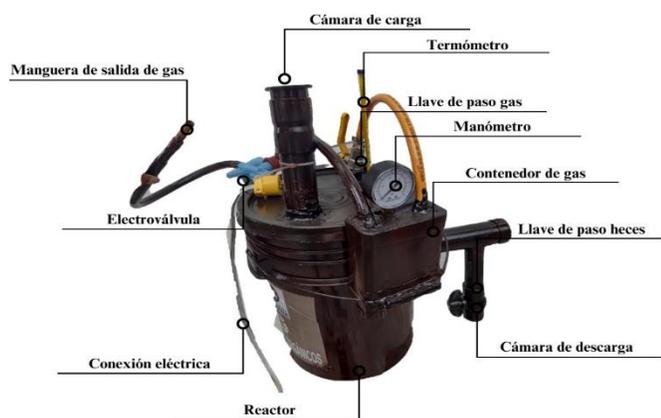


Fig.3. Biodigestor ensamblado

Como se puede ver en la figura 3 el ensamblaje del biodigestor consta de dos aparatos de medición, el termómetro y manómetro que ayudan al correcto registro de la temperatura y la presión, y una válvula que es activada por medio de electricidad con la función de salida del biogás generado dentro del depósito. También consta con dos tipos de cámaras, una de carga y otra de descarga; en la cámara de carga o entrada se depositarán las heces junto a la cantidad de agua adecuada y la cámara de descarga o salida nos permitirá vaciar el tanque de la materia orgánica contenida para realizar las pruebas de manera correcta. Es importante mencionar que todo el circuito: mangueras, llaves de paso, taponos, contenedor, cámaras y aparatos de medición deberán estar herméticamente cerrados para evitar la entrada y salida de gases que dificulten o anulen la producción correcta del biogás dentro de biodigestor.

### B. Cálculo las cantidades requeridas para cada muestra

Adoptando el concepto importante de Estrella [18] de acuerdo a las necesidades visualizadas durante el proyecto, en la primera prueba se procuró que en la mezcla exista más agua que materia fecal, mostrando un resultado de 3,75 Lt de estiércol y 11,25 Lt de agua. La segunda prueba, en este caso eran las mismas cantidades para ambos elementos, una solución de; 7,5 Lt de agua y 7,5 Lt desechos orgánicos del vacuno, y la prueba final, en dónde se trabajó en que exista más la presencia de heces que de agua, se obtuvo un resultado de: 11,25 Lt de estiércol y 3,75 L de agua, que serán expuestas en cada una de las pruebas en la sección III resultados.

### C. Verificación

Antes de proceder a la mezcla es de importancia verificar que el estiércol vacuno esté fresco, que en su mayoría no posea ningún tipo de químicos o sustancias que afecten el procedimiento, como recalca Solano [19] su importancia, que

no posean rocas, huesos, metal, plásticos y vidrios; es decir, que netamente sea excremento de vaca.

### D. Medir las cantidades para los experimentos

Se procede a medir las cantidades requeridas para cada experimento, tanto de agua (con un balde de medida) como de estiércol vacuno (con una báscula).

### E. Mezcla de Componentes

Una vez con las cantidades exactas, se procede a mezclar, que factiblemente ambos elementos se hayan incorporado, de la mejor manera; es decir, que en lo posible se debe llegar a la homogeneidad.

### F. Proceso de Descomposición

La mezcla debe ser depositada en el biodigestor por medio de la cámara de carga, y esta va a realizar su proceso en el reactor, el cuál debe estar totalmente sellado Saraz et al. [20] señalan que, para este tipo de procesos las bacterias no necesitan de oxígeno, agregando que es preferible que el lugar en donde está ubicado le pueda dar el sol directo, con la finalidad de incrementar la temperatura y el proceso de descomposición se pueda realizar de manera efectiva.

### G. Seguimiento y Control

Los datos de todas las pruebas se deben tomar a diario, tanto la temperatura como la presión generada por el gas, durante un rango de 15 a 20 días, en donde los días dependieron de cada una de las pruebas.

### H. Prueba de funcionamiento

Una vez el tiempo ha transcurrido, se acciona la electroválvula, y por medio de la manguera de salida del gas esperamos a que el biogás pueda generarse para posteriormente esperar su combustión, por consiguiente, se procede a vaciar el reactor por medio de la cámara de descarga, para que de esta manera se pueda repetir el proceso las veces que sean necesarias.

## III. RESULTADOS

En cada una de las pruebas que se mostrarán a continuación solo se visualizará la fórmula principal que es para terminar el volumen de trabajo de la mezcla (VT), mas es válido de mencionar que para poder aplicarla se utilizaron las fórmulas que se expusieron anteriormente, para calcular cantidad máxima o total del volumen a trabajar (CT) y también la cantidad total de litros de agua (CTA), simplemente no se muestran en las ilustraciones por cuestión de presentación y espacio.

## PRUEBA I

Para la realización de la prueba I, se mezcló 7,5 Lt. de estiércol y 7,5 Lt. de agua que vendría a ser la diferencia del total, que se obtuvo de la fórmula 1.

$$VT = CDT \times 0,75$$

$$VT = 10L \times 0,75$$

$$VT = 7,5 L \text{ de estiércol vacuno.}$$

TABLA II  
VALORES DE LA TEMPERATURA Y PRESIÓN DE LA PRUEBA I

N.º	Fecha	Temperatura (°C)	Presión (PSI)
1	18-jun-2023	28	0
2	19-jun-2023	28	0
3	20-jun-2023	29	0
4	21-jun-2023	29	0
5	22-jun-2023	28	0
6	23-jun-2023	29	0
7	24-jun-2023	29	0
8	25-jun-2023	29	0
9	26-jun-2023	29	0
10	27-jun-2023	29	0
11	28-jun-2023	30	0
12	29-jun-2023	30	2
13	30-jun-2023	29	0
14	1-jul-2023	29	2
15	2-jul-2023	30	2
16	3-jul-2023	31	2
17	4-jul-2023	31	2
18	5-jul-2023	32	2
19	6-jul-2023	33	4
20	7-jul-2023	32	4
21	8-jul-2023	31	2
Promedio		29,76	1,048

Dentro de la primera prueba se decidió realizarla utilizando la misma cantidad de sustancia tanto como para el estiércol vacuno como para el agua, finalizando con una prueba sin éxito, a pesar de que en el mes de julio se presencia una de las temperaturas más altas dentro de todo el proceso de prueba, además O'shea [21] estimó que, en julio del presente año fue uno de los meses registrados más cálido, y no solamente del 2023, sino de todos los meses registrados anteriormente que remontan desde 1880, dando a demostrar que la combinación de ambas sustancias aún no eran las óptimas para la creación del biogás a pesar de tener las condiciones climáticas a favor, Herrero et al. [22] esclareció que también se puede producir el biogás en climas fríos.

Mostrando los datos en la figura. 4, luego de realizar la primera prueba del experimento, es notable que la cantidad de agua y el volumen del estiércol no fue de un aporte favorable por tal motivo no se obtuvo un beneficio. Debido a que la temperatura y la presión no obtuvieron el resultado esperado dentro del tiempo adecuado; sin embargo, con este desenlace logramos notar que teníamos nuevas muestras por experimentar a fin de seguir evaluando la cantidad óptima de las sustancias.

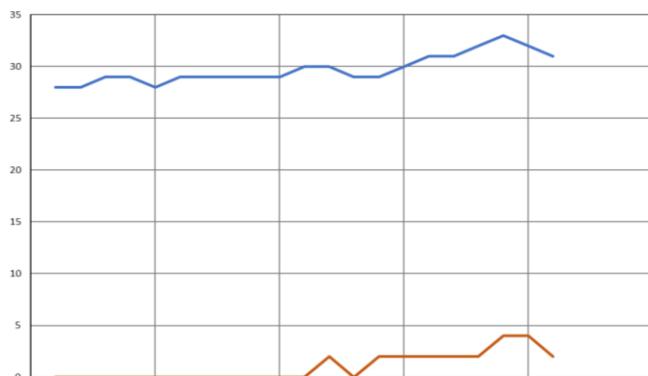


Fig. 4. Prueba I (Temperatura vs. Tiempo y Presión vs. Tiempo)

Se calcula el volumen del  $CH_4$  de esta prueba utilizando la ecuación 5 y 6 para la temperatura.

$$V = \frac{n \times R \times T}{P}$$

$$V = \frac{0,035362 \text{ lb} - \text{mol} (10,728 \frac{\text{ft}^3 \text{psi}}{^\circ\text{R}} \text{ lb} - \text{mol})(545,238 ^\circ\text{R})}{1,048 \text{ psi}}$$

$$V = 197,37 \text{ ft}^3$$

Donde:

$$P = 1,048 \text{ psi}$$

$$T = 29,76^\circ\text{C} = 545,238 ^\circ\text{R}$$

$$R = 10,728 \frac{\text{ft}^3 \text{psi}}{^\circ\text{R}} \text{ lb} - \text{mol} \frac{\text{ft}^3 \text{psi}}{^\circ\text{R}} \text{ lb} - \text{mol}$$

$$CH_4 = 16,04 \text{ g/mol} = 0,035362 \text{ lb-mol}$$

Para la segunda prueba realizada, se optó por experimentar si el factor del agua era más importante que la materia fecal, para descartar la posibilidad de que la anterior prueba haya fallado debido a que se utilizó más la materia fecal que el líquido el cual iba promover la descomposición de la misma, ésta prueba tuvo un día menos dentro del biodigestor, puesto que solo en el doceavo día se tuvo 2 psi y se planteó la posibilidad de que después iba a generar más gas, sin embargo, en los días anteriores en la toma de datos todos se mantenían en 0 psi, a pesar de que ésta prueba fue realizada en el mes de julio, también con el factor climático a favor; sin embargo, no logramos un éxito debido a que no era la combinación de sustancias adecuada para la producción del biogás.

## PRUEBA II

Para la realización de la prueba II se mezcló 3,75 Lt. de estiércol y 11,25 Lt. de agua que vendría a ser la diferencia del total, que se obtuvo de la fórmula 1.

$$VT = CDT \times 0,75$$

$$VT = 5 L \times 0,75$$

$$VT = 3,75 L \text{ de estiércol vacuno.}$$

TABLA III  
VALORES DE LA TEMPERATURA Y PRESIÓN DE LA PRUEBA II

N.º	Fecha	Temperatura (°C)	Presión (PSI)
1	9-jul-2023	31	0
2	10-jul-2023	30	0
3	11-jul-2023	30	0
4	12-jul-2023	29	0
5	13-jul-2023	29	0
6	14-jul-2023	29	0
7	15-jul-2023	29	0
8	16-jul-2023	28	0
9	17-jul-2023	28	0
10	18-jul-2023	29	0
11	19-jul-2023	29	0
12	20-jul-2023	29	2
13	21-jul-2023	29	2
14	22-jul-2023	29	0
15	23-jul-2023	28	0
16	24-jul-2023	28	0
17	25-jul-2023	29	0
18	26-jul-2023	28	0
19	27-jul-2023	28	0
20	28-jul-2023	28	0
Promedio		28,85	0.2

Como se puede evidenciar en la tabla 3, después de haber realizado la prueba anterior, en la cual en ninguna se obtuvo un resultado satisfactorio, debido a que no se pudo presenciar el gas y en la otra simplemente se fructificó una escasa cantidad de biogás, incapaz de ni siquiera alcanzar una presión de más 2 psi, fue aquí en donde se pudo percibir la importancia de las cantidades de estiércol vacuno y agua para conseguir el resultado esperado.

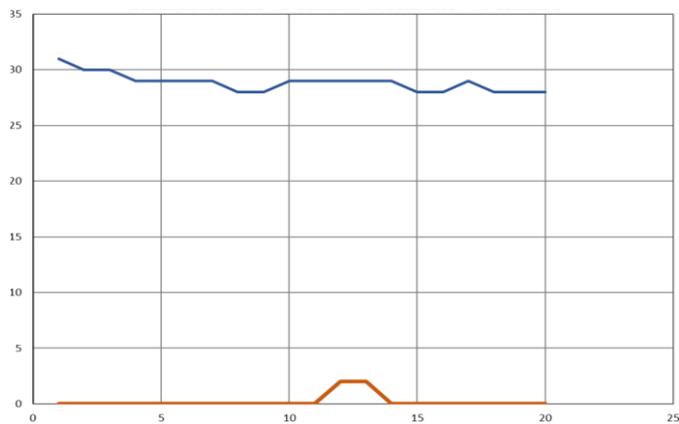


Fig. 5. Prueba 2 (Temperatura vs. Tiempo y Presión vs. Tiempo)

En una nueva prueba, se destaca una variación de mayor volumen en la figura 5, considerando que luego de analizar la primera mezcla que tuvimos en la figura. 4, se decide introducir dentro del biodigestor una cantidad menor de estiércol y mayor cantidad de agua donde ciertamente el factor climático aporta mucho valor en esta prueba en un tiempo similar al anterior. Asimismo, no se obtiene un gran avance en esta segunda prueba necesaria sin tener un resultado positivo.

Se calcula el volumen del  $CH_4$  de esta prueba utilizando la ecuación 5 y 6 para la temperatura.

$$V = \frac{n \times R \times T}{P}$$

$$V = \frac{0,035362 \text{ lb - mol} (10,728 \frac{ft^3 \text{ psi}}{^\circ R} \text{ lb - mol})(543,6^\circ R)}{0,2 \text{ psi}}$$

$$V = 1031,11 \text{ ft}^3$$

Donde:

$$P = 0,2 \text{ psi.}$$

$$T = 28,85^\circ C = 543,6^\circ R.$$

$$R = 10,728 \frac{ft^3 \text{ psi}}{^\circ R} \text{ lb - mol} \frac{ft^3 \text{ psi}}{^\circ R} \text{ lb - mol}$$

$$CH_4 CH_4 = 16,04 \text{ g/mol} \div 0,035362 \text{ lb-mol.}$$

### PRUEBA III

Para la realización de la prueba III se mezcló 11,25 Lt. de estiércol y 3,75 Lt. de agua que vendría a ser la diferencia del total, que se obtuvo de la fórmula 1.

$$VT = CDT \times 0,75$$

$$VT = 15 \text{ L} \times 0,75$$

$$VT = 11,25 \text{ L de estiércol vacuno.}$$

TABLA IV  
VALORES DE LA TEMPERATURA Y PRESIÓN DE LA PRUEBA III

N.º	Fecha	Temperatura (°C)	Presión (PSI)
1	29-jul-2023	28	0
2	30-jul-2023	27	0
3	31-jul-2023	27	2
4	1-ago-2023	28	2
5	2-ago-2023	28	2
6	3-ago-2023	28	4
7	4-ago-2023	28	4
8	5-ago-2023	28	4
9	6-ago-2023	29	6
10	7-ago-2023	29	8
11	8-ago-2023	29	8
12	9-ago-2023	29	8
13	10-ago-2023	29	10
14	11-ago-2023	30	11
15	12-ago-2023	30	11
16	13-ago-2023	30	12
Promedio			

Tal y como se confirmó en la tercera y última prueba, la cual tuvo un éxito contundente en donde se le dio mayor importancia a los desechos orgánicos vacunos, y aunque en este experimento el factor climático extraordinario mencionado anteriormente no tuvo poca o casi nada de influencia en esta prueba, y a pesar de que en esta solo se utilizaron dieciséis días para la realización de la misma la presión del biogás alcanzó y se mantuvo en 11 psi y luego aumentó en el último día a 12 psi, y con la finalidad de poder corroborar que efectivamente se

produjo la sustancia esperada, se la comprobó con la visualización de la combustión provocada del biometano producido al momento de tener contacto con el aire, después de proveer la carga inicial de energía calórica, que en este caso fue un cerillo.

Se calcula el volumen del  $CH_4$  de esta prueba utilizando la ecuación 5 y 6 para la temperatura.

$$^{\circ}R = (1,8 \times ^{\circ}C) + 491.67$$

$$V = \frac{n \times R \times T}{P}$$

$$V = \frac{0,035362 \text{ lb} - \text{mol} (10,728 \frac{\text{ft}^3 \text{psi}}{^{\circ}R} \text{ lb} - \text{mol})(543,083 ^{\circ}R)}{5,75 \text{ psi}}$$

$$V = 35,83 \text{ ft}^3$$

Donde:

$P = 5,75 \text{ psi}$

$T = 28,5625^{\circ}C = 543,083 ^{\circ}R$

$R = 10,728 \frac{\text{ft}^3 \text{psi}}{^{\circ}R} \text{ lb} - \text{mol} \frac{\text{ft}^3 \text{psi}}{^{\circ}R} \text{ lb} - \text{mol}$

$CH_4 = 16,04 \text{ g/mol} = 0,035362 \text{ lb-mol}$

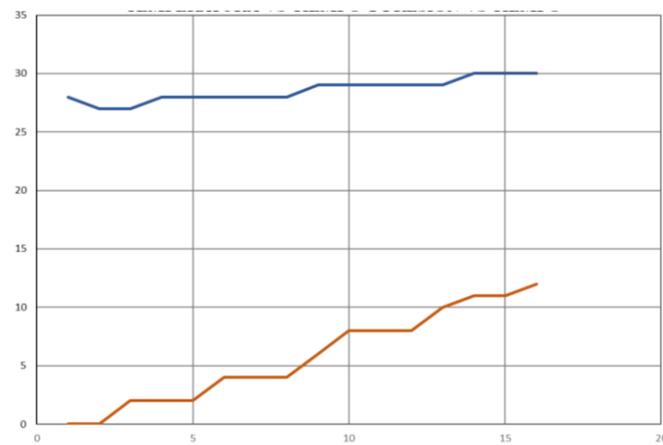


Fig. 6. Prueba 3 (Temperatura vs. Tiempo y Presión vs. Tiempo)

Dentro de ésta última prueba, es sumamente relevante observar en la figura 6, como hay un crecimiento en la presión que se consigue en mezclar mayor estiércol y menos cantidad de agua debido a la descomposición de los desechos orgánicos produciendo el biogás, sin desfavorecer el clima que es de suma importancia en todo este proceso. Al recopilar mayor estiércol dentro del biodigestor y obtener una presión desde el tercer día, por consecuencia el tiempo en esta prueba fue alrededor de dieciséis días a diferencia de las anteriores. Por ende, concluimos con un resultado muy favorable de la obtención del biogás y podemos decir que efectivamente se puede utilizar los desechos orgánicos para algo útil en los hogares y ser amigables

con el medio ambiente, Baldé [23] evidenció que, una vez se haya realizado toda la extracción del biogás este puede ser utilizado para abono y otras funciones, como lo determina Kalashnikova [24] en varios estudios indican que se podría producir una energía renovable para todos los hogares.

#### IV. DISCUSIÓN

La investigación y estudio realizado previamente sobre el uso y construcción de un biodigestor a menor escala a partir de estiércol vacuno demostró que la presencia de más heces en comparación a la cantidad de agua podría generar un biogás mucho más fuerte y eficaz que permite visualizar la combustión provocada por el biometano que se produce en contacto con el aire tras aportar la energía térmica inicial, que en este caso es un cerrillo de fósforo.

Este proyecto generó un resultado positivo para el aprovechamiento de la materia prima y producción de biogás, revalorizando dicho residuo y transformándola en una fuente natural de energía para satisfacer las necesidades de consumo desde los hogares hasta la industria. Obteniendo sustancialmente la proporción de grandes nutrientes, y mejorando las propiedades del suelo, intensificando considerablemente el contenido y la calidad de la materia orgánica.

Así mismo, según otra investigación sobre el uso de estiércol animal para generar biogás menciona que el tratamiento con heces de oveja también produce una mayor cantidad de biogás, esto fue alegado por Sarabia [25] sobre la producción de biogás mediante cogestión anaerobia de excretas de borrego y rumen adicionadas con lodos procedentes de una planta de aguas residuales. Según sus análisis estadísticos sobre la composición del biogás indica que los valores de  $CH_4$  y  $CO_2$  no fueron significativamente diferentes, pero la concentración de  $H_2S$  fue menor en el tratamiento con heces de oveja más lodos de aguas residuales.

Ambos textos abordan la aplicación de la digestión anaerobia como una solución para el manejo de residuos orgánicos, teniendo en cuenta que han mostrado Gautam et al. [26], algunos enfoques y objetivos ligeramente diferentes. Mientras que el análisis de Sarabia [25] se centra en la cogestión de excretas de borrego con lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales, destacando la producción de biogás y los beneficios ambientales asociados, este estudio aborda la implementación de biodigestores para el tratamiento de residuos orgánicos, específicamente estiércol de vaca, con un enfoque más amplio en la generación de biogás y fertilizantes orgánicos.

No obstante, la formación avanzada de Sarabia [25] se enfoca en un caso específico de cogestión de excretas de borrego, presentando estudios que respaldan la efectividad de este proceso, mientras que esta investigación solo aborda la implementación más general de biodigestores utilizando

estiércol de vaca, y considerando aspectos prácticos para su funcionamiento efectivo.

Ambas exploraciones comparten la visión de utilizar la digestión anaerobia como una herramienta valiosa para gestionar residuos orgánicos, aprovechando su potencial energético, pero difieren en los detalles específicos de aplicación y enfoque, cada uno destacando casos particulares y perspectivas únicas en su discusión sobre sostenibilidad y beneficios medioambientales.

Es importante recalcar, que la utilización de una buena calidad del estiércol está relacionada a la especie animal, la alimentación generada por los ganaderos, y la zona donde se los cría, esto eleva su composición entre un 30% y 80% de los tenores orgánicos, el estiércol puede elevar el contenido de humus en el suelo, ampliando la actividad microbiana. Éstas producen transformaciones químicas en el suelo y el estiércol, haciendo que muchos elementos no aprovechables por las plantas puedan ser asimilados, mejorando la actividad y población de especies de la fauna edáfica.

Los estiércoles utilizados en este proyecto aparte de evitar la contaminación por residuos y aguas residuales, funcionan como fertilizantes orgánicos naturales, pues muchos campesinos optan por los fertilizantes químicos industriales, que demuestran mayor eficacia en un corto tiempo al ser empleados en los cultivos y los suelos, no obstante, no se puede mencionar lo mismo del fertilizante orgánico proveniente de los desperdicios del biodigestor, debido a que éstos desarrollan buenos resultados a largo plazo, manteniendo el suelo agrícola apto para el cultivo, bajando los costos y optimizando resultados.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### A. Conclusiones

De acuerdo con los datos que respaldan a este proyecto, los cuales demuestran que con eficacia se dio la producción de biogás mediante la utilización de estiércol de vaca, por los resultados obtenidos durante todas las pruebas realizadas en el biodigestor, se puede decir que es rentable y aplicable. Este modelo de energía alternativa renovable de biogás a base de estiércol ofrece beneficios adicionales porque continúa con el ciclo de reutilización total de la materia inicial.

Los biodigestores pueden jugar un papel importante en sistemas de cultivo integrados contribuyendo a la reducción de polución y agregando valor a los excrementos del ganado.

Además, a través de esta metodología se evidenció que implementando conocimientos profesionales adquiridos mediante la cual nos permitió analizar en cada prueba ejecutada

cuales son los factores adecuados, como lo es: la temperatura, agua, residuo orgánico y presión, lo que genera la obtención del biogás.

Considerando los hallazgos previamente mencionados, se abre la puerta posibilidades que este proyecto puede ser incorporado o viable en las zonas rurales del país porque con un continuo seguimiento o investigación del producto obtenido se puede aprovechar un mayor consumo, siendo que, esta estrategia no solo contribuye a mitigar el impacto ambiental de los desechos ganaderos, sino que también ofrece beneficios económicos al reducir los costos asociados con la gestión de residuos y la producción de energía con la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles y resilientes ante los desafíos ambientales actuales y futuros, aplicando la economía circular.

### B. Recomendaciones

Por seguridad revisar todos los componentes antes de poner en marcha el digestor ya que se estará manipulando gas y es un combustible volátil de alto poder calorífico por lo que se deben tomar todas las seguridades posibles. Los proyectos de este tipo tienen gran marca social, económica y ecológica por lo que se debe y debería continuar con estos tipos de proyectos.

Es importante mencionar que, dentro del prototipo, en cada etapa del proceso para la producción del biogás se tomaron las respectivas precauciones a fin de evitar cualquier riesgo bacteriano aplicando la epistemología de los EPP, dado que, al manipular desechos orgánicos, como lo es el estiércol vacuno; puede provocar enfermedades, tomando en cuenta una examinación en detalle la calidad del estiércol vacuno y su influencia en la producción de biogás y en la fertilidad del suelo, subrayando la importancia de factores como la especie animal, la alimentación y el entorno de cría.

La utilización de biodigestores ofrece grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos, además de disminuir la carga contaminante de los mismos, extrae gran parte de la energía contenida en el material mejorando su valor fertilizante resaltando la necesidad de promover el uso de fertilizantes orgánicos a largo plazo, que mantengan la salud del suelo y aseguren la sostenibilidad de la agricultura, de la misma manera controlando, de manera considerable, los malos olores.

## V. REFERENCIAS

- [1] V. Costales, *Emgirs declara la emergencia en relleno sanitario de El Inga; operadores se encargarán de construir otro cubeto y del tratamiento de lixiviados*, Quito, Pichincha: El Comercio, 2020.
- [2] J. Cusi, *Diseño, construcción de un sistema de producción de energía eléctrica para la generación de 800W a través del uso de Biogas, para una pequeña granja y análisis energético del sistema*, Quito, Pichincha, 2018.
- [3] García Posada, «Análisis comparativo de las propiedades de composición de las mezclas metano-hidrógeno con respecto al metano,» de *Ingeniería y Desarrollo*, 2006, pp. (20), 19-34.
- [4] A. Rodríguez, *Biodigestores: ¿Qué son y cómo construirlos? Programa Regional de Ganadería MAG Grecia*, 2012.
- [5] A. Kaiser, «Producción de biogás a partir del guano animal: el caso de Alemania,» 2002.
- [6] H. Cabrera, *El Biodigestor una herramienta de Vanguardia*, S. y. A. d. I. U. C. d. Madrid, Ed., 2014, p. 23.
- [7] E. Ferrer, *Producción de biogás a partir de residuos orgánicos en biodigestores a bajo coste*, 2015.
- [8] J. Samayoa, *Guía Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas*, Comunica, 2012.
- [9] R. Fabricio, «Diseño e implementación de un biodigestor en el camal de Pacto, Provincia de Pichincha,» 2019.
- [10] J. Ronald Miner, *Managing livestock wastes to preserve environmental quality*, 1 ed., Ames : Iowa State University Press, 2000, p. 318.
- [11] C. Zuluaga, *Implementación de un biodigestor en ganadería de carne en Guaduas, Cundinamarca*, U. d. I. Salle, Ed., 2007.
- [12] Saber de todo, «Biodigestor casero, todo lo que debes saber del tema y más,» 14 julio 2015. [En línea]. Available: [https://saberdetodo.com/utilidades/biodigestor-casero/#google\\_vignette](https://saberdetodo.com/utilidades/biodigestor-casero/#google_vignette). [Último acceso: 23 julio 2023].
- [13] B. M. Matjaž Ošljaj, «Biogas as a renewable energy source,» *Semantic Scholar*, vol. 17, pp. 109-114, 31 Marzo 2010.
- [14] CONSTANTE UNIVERSAL DE LOS GASES (REVISIÓN 8 – 107285.21). (s. f.). [PDF]. <https://cruzfierro.com/formularios/R.pdf>
- [15] Dido C., «Evaluación técnica económica del tratamiento anaeróbico de los efluentes de un tambo de la provincia de Buenos Aires, Argentina,» *Avances en Ciencias e Ingeniería*, vol. N° 4, n° N° 4, pp. 65-74, Octubre/Diciembre 2013.
- [16] N. Schirmer, «Methane production in anaerobic digestion of organic waste from Recife (Brazil) landfill: evaluation in refuse of different ages,» vol. 31, pp. 73 - 384, Abril - Junio 2014.
- [17] T. Varnero, *Manual de biogás*, Chile, 2011.
- [18] E. Estrella., «Diseño de un biodigestor de excretas animales en la comunidad El Calvario, parroquia Veracruz, cantón Pastaza, Ecuador,» vol. 34, p. 28–43, diciembre 2022.
- [19] O. Rivas Solano, M. Faith Vargas y . R. Guillén Watson, «Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad,» vol. 23, pp. 39-46, 20 Enero - Marzo 2010.
- [20] A. Osorio Saraz, H. J. Ciro Velásquez y H. González Sánchez, «EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE BIODIGESTIÓN EN SERIE PARA CLIMA FRÍO,» vol. 60, pp. 4145-4162, 2007.
- [21] A. O'shea, «Nasa.gov,» 14 agosto 2023. [En línea]. Available: <https://www.nasa.gov/news-release/julio-de-2023-fue-el-mes-m%C3%A1s-caluroso-registrado/>. [Último acceso: 13 noviembre 2023].
- [22] J. Herrero, *Biofill de bajo costo para mejor la digestión anaeróbica en regiones de clima frío con gestores tubulares.*, Revista de investigación e innovación agropecuaria y de recursos naturales, 2014, pp. 1(1), 81-91.
- [23] M. Hambaliou Baldé, «Methane emissions from digestate at an agricultural biogas plant,» *Bioresource Technology*, vol. 216, pp. 914-922, 1 Septiembre 2016.
- [24] F. Tatyana V. Kalashnikova, «Application of Biogas Installations as an Alternative Method to Receive Energy,» *The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences*, 2017.
- [25] E. Sarabia M., «Producción De Biogás Mediante Codigestión Anaerobia De Excretas De Borrego Y Rumen Adicionadas Con Lodos Procedentes De Una Planta De Aguas Residuales,» vol. 33, Febrero 2017.
- [26] Rajeeb Gautam, Sumit Baral y Sunil Herat, «Biogas as a sustainable energy source in Nepal: Present status and future challenges,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, n° 1, pp. 248-252, Enero 2009.