

## **Digestión anaerobia no controlada para la producción de biogás mediante la pulpa de cacao**

Anelvis Paulina López Blandón <sup>1</sup>

Katherine Valeria Castellón Reyes <sup>2</sup>

Hanzell Uriel Valenzuela Ramírez <sup>3</sup>

### **Resumen**

La presente investigación tuvo como fin evaluar las propiedades fisicoquímicas de la pulpa de cacao, con el objetivo de utilizarlo como sustrato orgánico para la producción de biogás en la cooperativa de CAC-HERMAN.RL. en Musun ubicado en el municipio de Rio Blanco, Matagalpa durante el periodo Septiembre-noviembre 2023. Este estudio se basa en el enfoque cuantitativo y descriptivo según el nivel de profundidad, el método de investigación es experimental, de acuerdo con el alcance y análisis de los resultados el estudio es correlacional. El sustrato seleccionado en esta investigación para producción de biogás fue la pulpa de cacao, con el fin de evaluar las propiedades fisicoquímicas y determinar si es factible para la producción de metano. El sustrato estuvo sometido a un proceso de digestión anaeróbica, con rangos de temperatura de 28 °C a 30 °C, con un tiempo de retención de 30 días en cada fase de llenado. Se obtuvieron resultados de pH ácidos, dentro de un rango de 2.3 a 3.4 lo que no permitió que se desarrollara el proceso de metanización.

**Palabras clave:** digestión anaeróbica, fisicoquímicas orgánicas, biogás

## **ABSTRACT**

The purpose of this research was to evaluate the physicochemical properties of cocoa pulp, with the aim of using it as an organic substrate for the production of biogas in the CAC-HERMAN.RL cooperative. in Musun located in the municipality of Rio Blanco, Matagalpa during the period September-November 2023. This study is based on the quantitative and descriptive approach according to the level of depth, the research method is experimental, in accordance with the scope and analysis of The results of the study are correlational. The substrate selected in this research for biogas production was cocoa pulp, in order to evaluate the physicochemical properties and determine if it is feasible for the production of methane. The substrate was subjected to an anaerobic digestion process, with temperature ranges from 28 °C to 30 °C, with a retention time of 30 days in each filling phase. Acid pH results were obtained, within a range of 2.3 to 3.4, which did not allow the methanation process to develop.

Keywords: anaerobic digestion, organic physicochemistry, biogas.

## **Introducción**

Actualmente la sociedad depende su mayoría del uso de leña y gas butano, lo que obliga a los pobladores a buscar alternativas que sean más accesibles y les permitan mitigar el impacto negativo al medio ambiente.

La biomasa está constituida por materiales orgánicos de origen vegetal o animal, emerge como una alternativa renovable clave en la actualidad. Este recurso, derivado de residuos agrícolas, forestales y otros desechos biodegradables, despierta un contexto en la actualidad importante, debido a su alta accesibilidad hoy en día.

El presente trabajo tiene como propósito evaluar por medio de digestión anaeróbica no controlada el comportamiento de la pulpa de cacao para la producción de biogás. Este estudio se rige por el enfoque filosófico, por el uso de instrumentos de recolección de la información, análisis y vinculación de datos, el presente estudio se realizará mediante un enfoque cuantitativo de investigación.

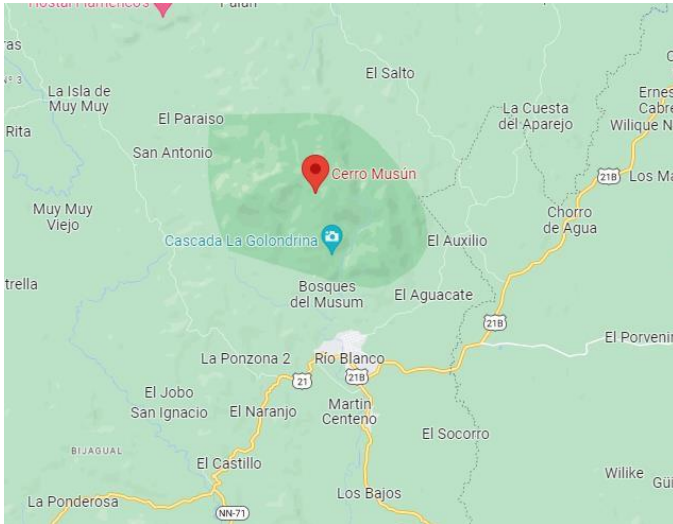
Además, la accesibilidad de estos sustratos en el entorno donde se produce el cacao puede tener un impacto positivo en las comunidades locales, especialmente en áreas rurales donde la disponibilidad de energía puede ser limitada. Al aprovechar los residuos de la producción de cacao para la generación de biogás, se crea una oportunidad para mejorar la disponibilidad de energía de manera sostenible y económica.

## MATERIALES Y METODOS

### Área de estudio

La investigación se realizó en el cerro Musun donde habitan los asociados de la Cooperativa Hermandad Campesina (CAC-HERMAN.R.L.).

### *Figura 3 Foto tomada de Google Maps*



### Área de conocimiento

El área de estudio a la que pertenece el tema de la presente investigación es el Área Ingeniería, Industria y Construcción y se inscribe a la línea de Investigación N° 1. Innovación, Tecnología y Medio Ambiente, y responde a la sub línea N° 1.1. Energías Renovables de la universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN– MANAGUA)

### Población y muestra

Según Tamayo y Tamayo (2003), define la población como un conjunto o totalidad de los elementos o cosas que se quiere investigar. En esta investigación se trata de la evaluación de la pulpa de cacao como sustrato para la producción de biogás

Debido que esta investigación se realizó por el método experimental la muestra representativa se circunscribe al espacio inferencial representativo de número de repeticiones y el número de tratamientos, de los cuales contó con tres repeticiones para la caracterización del sustrato de pulpa de cacao.

Las unidades experimentales (material receptor, al cual se aplican los tratamientos en un solo ensayo) fueron tres biodigestores tipo Batch, los cuales se cargaron tres veces a temperatura ambiente.

## **Implementación de métodos cuantitativos**

La técnica principal que se aplicó en esta investigación es la observación, debido que hacer un registro a través de lo visual permite saber lo que ocurre en la realidad, así clasificando y asignando los acontecimientos de acuerdo con algún esquema previsto y de acorde al problema que se estudia. Además de que se debe tomar en cuenta factores relacionados al funcionamiento de los biodigestores y los factores que influyen en el proceso de digestión anaerobia no controlada

El diseño experimental está constituido por variables controladas y no controladas. En las pruebas realizadas para la producción de biogás a partir de pulpa de cacao, se realizaron por tres fases, cada una de las fases estuvo compuesta por tres reactores anaeróbicos, ocupando el 75 % del reactor la materia prima para el proceso de digestión y el 25 % del reactor a la cámara de salida del almacenamiento de biogás.

## **Procedimientos para la recolección de datos e Información**

El procedimiento que se siguió para la recolección de los datos e información se presentan de acuerdo con cada uno de los objetivos planteados en esta investigación.

## **Propiedades fisicoquímicas de los sustratos del cacao**

El procedimiento para seguir fue de acuerdo con la metodología utilizada por (Reyes, 2019)

Primeramente, se realizará la selección del sustrato. Este se escogerá tomando en cuenta los siguientes criterios:

- La materia se debe encontrar en abundantes cantidades.
- Debe tener bajo costo de adquisición (o nulo).
- Debe representar un factor de contaminación ambiental.

Se eligió como sustrato para la producción de biogás los residuos orgánicos de la pulpa de cacao de la Cooperativa Hermandad Campesina ubicada en el municipio de Rio Blanco, Matagalpa.

La pulpa de cacao se obtendrá a partir de los desechos del procesamiento de chocolate, jalea y vino de cacao.

Además, en esta etapa se utilizó la técnica gravimétrica a través de una balanza analítica, para pesar los sustratos orgánicos. Luego se introducen en un horno en capsulas de porcelana, a una temperatura de 115°C durante 12 horas durante un tiempo determinado.

Después, se extrajo las muestras del horno, para que alcanzaran la temperatura ambiente, posteriormente de este proceso, se aplicó nuevamente la etapa de la pesa analítica, de tal forma que el resultado obtenido representa el porcentaje de humedad y masa seca, el aumento de peso sobre el peso del crisol vacío representa la cantidad de sólidos totales o masa seca del sustrato.

Para llevar a cabo la determinación de los Sólidos Volátiles (SV), se calcinó el residuo seco procedente de la determinación de ST en un horno de mufla a una temperatura de 550°C durante 8 horas.

Finalmente, se realizó a la extracción de las muestras, pesándolas para conocer el porcentaje de cenizas y el contenido de sólidos volátiles presente en las muestras. La disminución de peso del crisol tras la incineración del residuo seco (ST), representa el contenido en SV.

También, se calculó el porcentaje de Carbono Orgánico (CO) a partir de los porcentajes de materia orgánica (Sólidos Volátiles).

El porcentaje de CO se obtuvo mediante la siguiente ecuación

$$CO\%: \frac{MO}{1.8}$$

Dónde: 1.8= factor de conversión

Se estimó el contenido de nitrógeno considerando que el contenido de este elemento forma 5 % de la materia orgánica (Reyes, 2019).

### **Determinar la producción de biogás**

El proceso utilizado fue de acuerdo con la metodología de Reyes, 2019.

Donde para cargar los biodigestores se utilizó un procedimiento, el cual consiste en una relación 2:1, esto representa que, por cada 2 Kg de materia orgánica, se introduce un litro de agua, luego se mezclaron y agitaron en un recipiente para lograr homogeneidad, se utilizó el 75 % del recipiente para la cámara de carga y el 25 % para cámara gaseosa.

La cantidad de biogás se cuantificó aplicando una técnica volumétrica que se basa en el desplazamiento de líquido. Para la técnica de medición de biogás producido se utilizaron instrumento de laboratorio, tales como: un recipiente con agua, base de soporte metálico y una probeta de 250 ml.

El método consiste en llenar un recipiente y una probeta con agua, luego introducir la probeta dentro del recipiente, posteriormente introducir la manguera de salida de la cámara de almacenamiento de biogás y finalmente liberar gradualmente el biogás y medir el desplazamiento de agua para obtener la producción de biogás en ml.

### **Plan de tabulación y análisis estadístico**

A partir de los datos recolectados, se creó una base de datos, utilizando el programa informático Excel, luego se exportó la base de datos al programa estadístico infoStat. De acuerdo con la naturaleza de cada una de las variables (cuantitativas) y guiados por el compromiso definido en cada uno de los objetivos específicos.

Se realizaron los análisis descriptivos correspondientes a: Gráficos de barras.

Así mismo, se realizaron los análisis inferenciales específicos o prueba de hipótesis, de acuerdo con el compromiso establecido en los objetivos específicos, relacionado con la prueba de correlación de Pearson.

El ANACORR, consiste en determinar el grado de asociación entre dos variables cuantitativas continuas, o calificar tal relación, lo cual se mide por el coeficiente de correlación “r” de Pearson y se realiza bajo la hipótesis nula de  $H_0: \rho = 0$  (Casanoves, 2007).

Para la interpretación del coeficiente de correlación “r” de Pearson, éste toma valores entre -1 y +1. Valores próximos a -1, indican una fuerte a perfecta asociación negativa, valores cercanos a -0.5, indican una asociación moderada negativa y valores próximos a 0 indican una débil asociación entre las variables. Por otra parte, valores próximos a 1, muestran una fuerte a perfecta asociación positiva, valores cercanos a 0.5 revelan una asociación moderada positiva.

## Resultados y discusión

### Caracterización de propiedades fisicoquímicas de la pulpa de cacao a través de métodos de balance de masa

Se realizaron tres replicas para determinar la relación carbono nitrógeno que nos indica la relación presente en la proporción de carbono con el nitrógeno en un material orgánico

Se obtuvo como perfil de media de 11/1, este resultado coincide con lo reportado por Lijarza (2022) quien realizó un estudio para determinar la producción de biogás a partir de la cascara de cacao a nivel de laboratorio, obteniendo una media en la relación carbono / nitrógeno de 11/1

**Tabla 1**  
*Carbono obtenido de las muestras de cacao*

Muestras	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Muestra 1	Carbono	1	15.00	0.00	15.00	15.00
Muestra 2	Carbono	1	14.00	0.00	14.00	14.00
Muestra 3	Carbono	1	14.00	0.00	14.00	14.00

**Tabla 2**  
*Nitrógeno obtenido de las muestras de cacao*

Muestras	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Muestra 1	Nitrógeno	1	1.35	0.00	1.35	1.35
Muestra 2	Nitrógeno	1	1.25	0.00	1.25	1.25
Muestra 3	Nitrógeno	1	1.30	0.00	1.30	1.30

**Tabla 3**  
*Relación carbono/Nitrógeno de las muestras de pulpa de cacao*

Muestras	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Muestra 1	Relación C/N	1	11.11	0.00	11.11	11.11
Muestra 2	Relación C/N	1	11.11	0.00	11.11	11.11
Muestra 3	Relación C/N	1	11.11	0.00	11.11	11.11

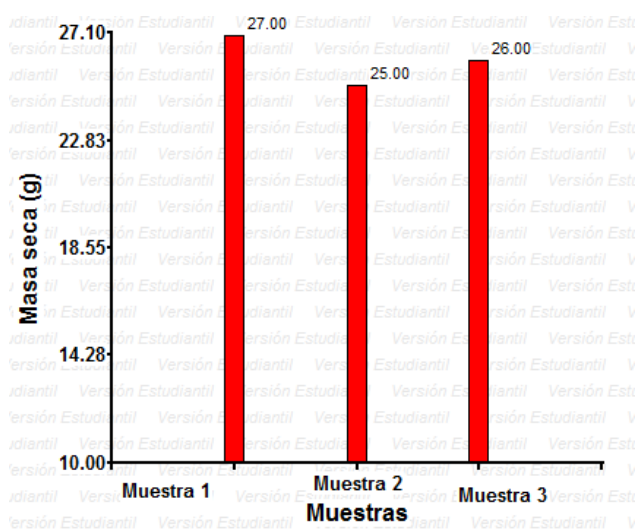


Se realizaron tres replicas para determinar el porcentaje de masa seca lo cual nos indica la materia orgánica sin humedad, obteniendo solidos totales como resultado del secado de la materia prima. Figura 1

El estudio arrojo un perfil de media de 26 gramos equivalente a 26% de masa seca, esto coincide con lo reportado por Ligarza (2022) quien obtuvo un resultado de masa seca equivalente a 24.62%.

**Figura 1**

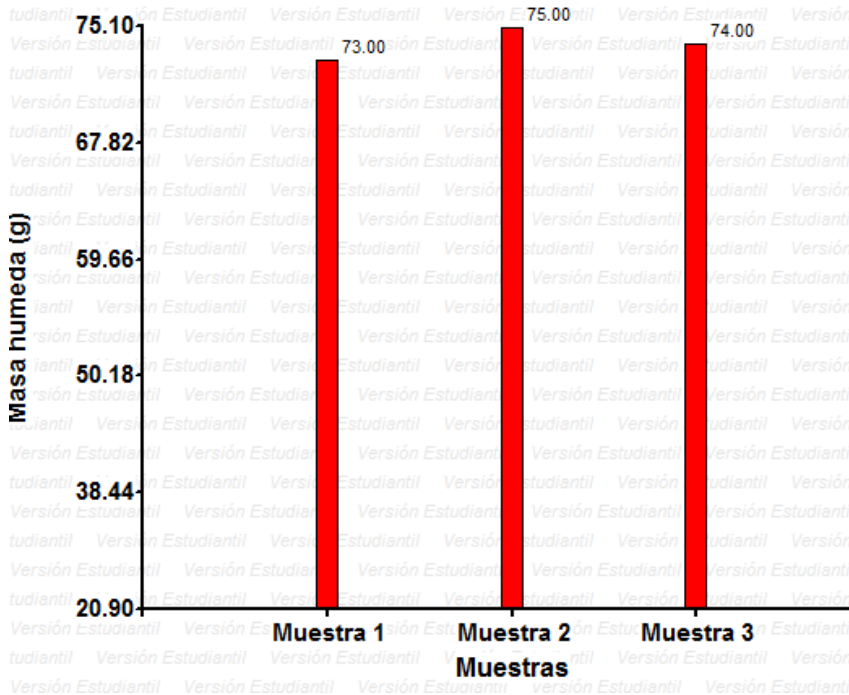
**Masa seca del sustrato**



Se realizaron tres replicas para determinar el porcentaje de masa húmeda que nos indica una muestra solida de un sustrato, previa a ser sometida a un proceso de secado. Se obtuvo como perfil de media de 74.00 este resultado coincide con lo reportado por Lijarza (2022) que obtuvo 75.38 de masa húmeda.

**Figura 2**

**Masa húmeda del sustrato**

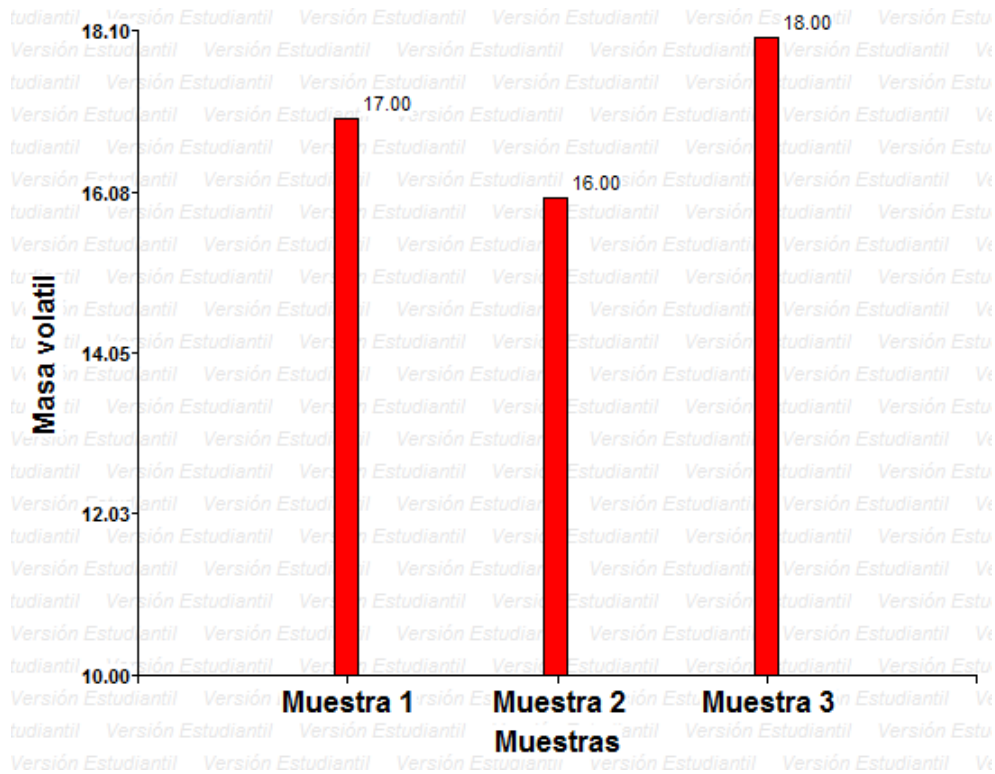


Según la FAO la masa volátil representa aquella porción de sólidos totales que se libera de una muestra, volatilizándose cuando se calienta durante dos horas a 600°C.

Para la determinación de la masa volátil en este estudio (Figura 3), se realizaron tres replicas en las cuales se obtuvo una media de 17 gramos de masa volátil representando el 17% de la masa total, esto coincide con lo reportado por Merino,(2019) que obtuvo un resultado de 11.13% en masa volátil.

**Figura 3**

Masa volátil del sustrato

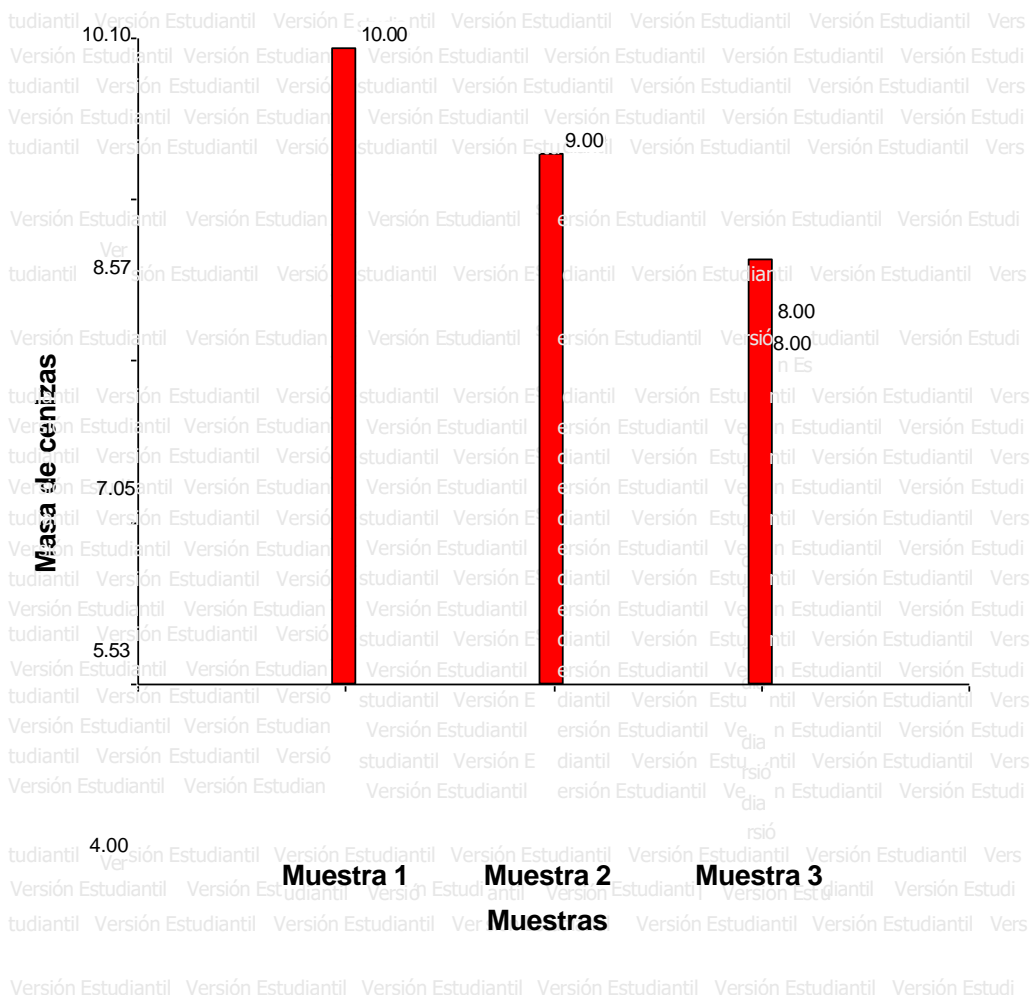


Se realizaron tres replicas para determinar el porcentaje de masa de cenizas, que nos indica la diferencia de masa al final del proceso de secado de la masa húmeda.

Obteniéndose un perfil una media de 9.00 este resultado difiere con lo reportado por Merino, (2019) con donde muestra que obtuvo un resultado de 4.3% en masa de ceniza procedente del cacao.

**Figura 4**

**Ceniza del sustrato**

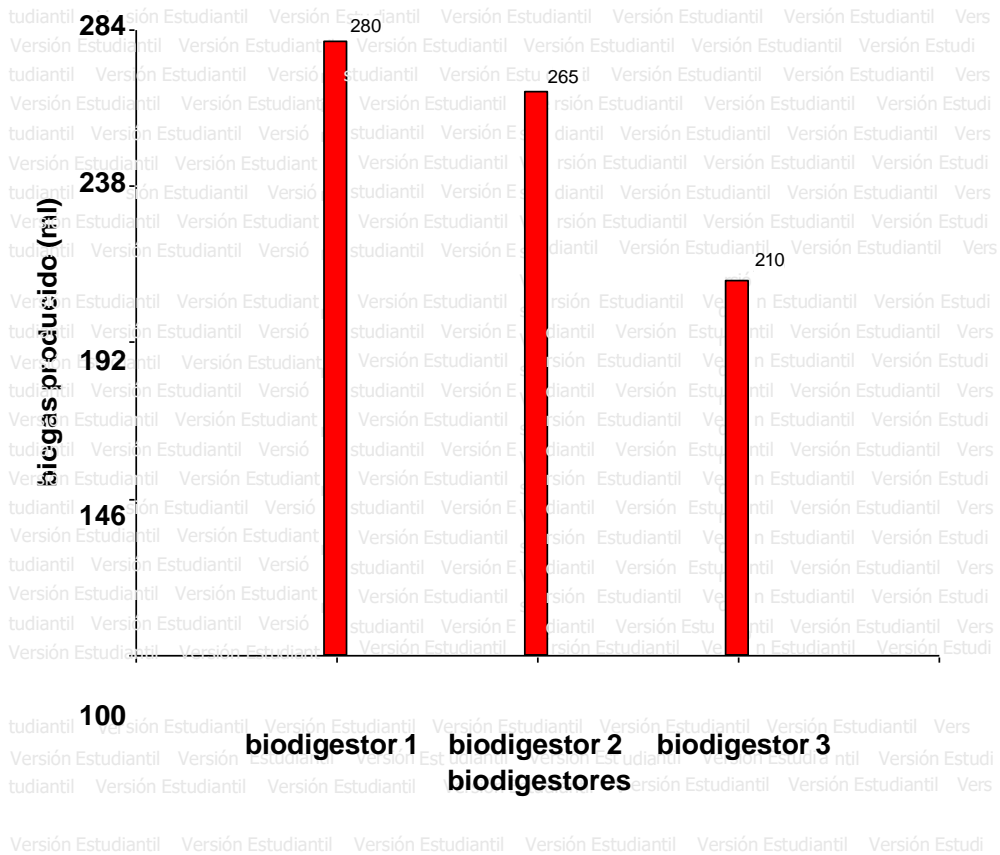


Se realizaron tres replicas para determinar la producción de biogás, que nos indica la mezcla de gases producida en la digestión anaerobia, y se caracteriza por tener, en general, un 50 % -70 % de metano ( $\text{CH}_4$ ), 40-20 % de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y trazas de otros gases,

El análisis arroja un perfil de media de 251.00 ml de biogás producido, este resultado difiere con el estudio realizado por Lijarza., (2022) que consiguió una producción de 1107.6 ml utilizando un sustrato de cascara de cacao con una relación de 2:1.

**Figura 5**

**Biogás producido relación 2:1 pulpa de cacao y agua**



**Relación entre producción de gas y temperatura** El ANACORR, consiste en determinar el grado de asociación entre dos variables cuantitativas continuas, o calificar tal relación, lo cual se mide por el coeficiente de correlación “r” de Pearson y se realiza bajo la hipótesis nula de  $H_0: \rho = 0$  (Casanoves, 2007).

De acuerdo con Rodríguez (2012), para la interpretación del coeficiente de correlación “r” de Pearson, éste toma valores entre -1 y +1. Valores próximos a -1, indican una fuerte a perfecta asociación negativa, valores cercanos a -0.5, indican una asociación moderada negativa y valores próximos a 0 indican una débil asociación entre las variables. Por otra parte, valores próximos a 1, muestran una fuerte a perfecta asociación positiva, valores cercanos a 0.5 revelan una asociación moderada positiva.

A continuación, se presenta el procedimiento del ANACORR realizado con IS para determinar la correlación entre las variables, pH y producción de biogás; temperatura y producción de biogás para saber si estas variables están correlacionadas o no, lo cual aportará pistas para estudiar las causas de la producción de biogás de la pulpa de cacao.

**Tabla 4**

*Correlación de Pearson, producción de biogás y pH*

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Biogás producido (ml)	pH	9	0.73	0.0243

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables pH y producción de biogás, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a 0,73, indicando que se tiene una asociación moderada positiva entre las variables. Este moderado valor del “r” fue obtenido con un  $p = 0,0243$ , el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación  $\alpha = 0.05$ . Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de  $H_0: \rho = 0$ , esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que no existe correlación entre las variables pH y producción de biogás.

**Tabla 5**

*Correlación de Pearson, producción de biogás y la temperatura*

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Biogás producido (ml)	Temperatura	9	0.70	0.03827

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables temperatura y producción de biogás, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a 0,70, el cual es un valor próximo a 1, indicando que se tiene una fuerte asociación entre las variables. Este fuerte valor del “r” fue obtenido con un  $p = 0,03827$ , el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación  $\alpha = 0.05$ . Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de  $H_0: \rho = 0$ , esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe correlación entre las variables temperatura y producción de biogás. De ahí que, se confirma la hipótesis de que la producción de biogás está asociada con la temperatura alcanzada en los biodigestores.

Es un parámetro que tiene influencia significativa en la digestión anaeróbica, dado que modifica las funciones de las enzimas y por ende la velocidad de fermentación; estas fluctuaciones tienden a causar desequilibrio en la producción de metano ( $CH_4$ ) 26 influyendo al crecimiento microbiano; entre 20 y 40°C la reacción no muestra cambios

significativos. Del resultado obtenido para este parámetro nos indica que tiene un valor de 30°C el más alto y 28°C el más bajo, por lo tanto, se encuentra entre los límites de una temperatura óptima influyendo de buena manera en el crecimiento de microorganismos anaerobios.

## **Conclusiones**

El análisis a las propiedades fisicoquímicas del sustrato orgánico de pulpa de cacao que formo parte de las unidades de análisis experimental, no estuvieron dentro de los rangos óptimos, que favorecen las necesidades de crecimiento y producción de metano de las bacterias anaerobias por dicha razón no acepta la hipótesis planteada.

La producción de biogás depende del pH y la temperatura que se obtenga dentro de los biodigestores, sin embargo, en este estudio el pH no estuvo dentro de los rangos óptimos para la proliferación de bacterias anaerobias por lo tanto la producción de biogás fue casi nula.

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables pH, temperatura y producción de biogás, dio como resultado un coeficiente de correlación fuerte esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa.

Mediante el análisis de correlación de Pearson se determinaron la correlación entre las variables temperatura y producción de biogás, lo que permitió determinar estadísticamente que existe relación entre variables



## Referencias

- Reyes, E. (2019). *Generación de biogás, mediante el proceso de digestión anaerobia*. UNAN Managua-FAREM Estelí. Recuperado el 11 de 11 de 2023, de <https://repositorio.unan.edu.ni/12306/1/5892.pdf>
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica, Cuarta edición*. Mexico: LIMUSA: G. N. Editores, Ed.
- Ministerio de Energia y Minas (MEM). (2021). *BALANCE ENERGETICO NACIONAL*. Managua, Nicaragua. Recuperado el 20 de 10 de 2023, de <https://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2023/05/Balance-Energetico-Nacional-2021-VF.pdf>
- Casanoves, F. (2007). Curso Internacional de Técnicas de Análisis Multivariado. Técnicas de análisis multivariado. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Lijarza, Galvez, Y. I. (2022). (tesis para optar al grado de licenciatura). *PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE LA CASCARA DEL FRUTO DEL CACAO (Theobroma cacao L.) A NIVEL DE LABORATORIO*. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, Tingo Maria.
- Merino, Chumacero, M. E. (Agosto de 2019). Diseño e implementación de reactor anaerobio semicontinuo para aprovechamiento de cáscaras de cacao. Piura. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/6f0aa872-aa47-4020-99a4-75220511fe16/content>

Digestión anaerobia no controlada para la producción de biogás mediante la pulpa de cacao

Digestión anaerobia no controlada para la producción de biogás mediante la pulpa de cacao