UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Facultad Regional Multidisciplinaria, FAREM-Estelí

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

Trabajo monográfico para optar

Al grado de

Ingeniero en Energías Renovables

Autores

Katherine Valeria Castellón Reyes

Anelvis Paulina López Blandón

Hanzell Uriel Valenzuela Ramírez

Tutor

Dr. Edwin Antonio Reyes Aguilera

Estelí, 04 de diciembre del 2023

Dedicatoria

“En el camino del conocimiento, de cada página escrita es un paso más hacia la excelencia”.

A Dios, porque hasta aquí nos ha traído su voluntad, por la sabiduría, y en su nombre ponemos nuestros planes y propósitos para que seamos instrumentos de bien y sirvamos con amor al que más lo necesite en lo que sea que nos tenga preparado para el futuro.

A nuestros seres queridos, porque nos inculcaron el camino del saber, a ser mejor cada día, a no rendirnos durante la carrera, por ser motivación para cada uno de nosotros y gracias a sus grandes esfuerzos hoy estamos entregándoles un poquito de gratitud.

A grandes docentes que fueron parte en nuestro crecimiento personal y profesional, en la carrera universitaria a todos sin excepción alguna, estamos seguro de que marcaron nuestro futuro y sembraron su semilla del saber en esta tierra que apenas comienza a germinar.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecemos a Dios por su infinita misericordia, por la oportunidad de poder concluir con el esfuerzo de más de cinco años que hemos transcurrido, en la que le hemos puesto toda nuestra fe, amor, paciencia, sacrificio y sobre todo nuestro tiempo.

Agradecemos a nuestros familiares que son nuestro pilar fundamental, que sin su apoyo hoy no estaríamos en esta etapa tan maravillosa, por todo el esfuerzo que hicieron para que hoy por hoy estemos por culminar nuestra carrera profesional, por los principios y valores que nos inculcaron y por toda la paciencia y motivación que siempre estaban dispuestos a darnos.

A nuestro tutor Dr. Edwin Antonio Reyes Aguilera por el apoyo, comprensión y confianza que nos brindó para la realización de nuestra tesis, además de darnos motivación y su amistad que nos permitieron aprender mucho más que lo estudiado en nuestra investigación.

Estelí, 04 de diciembre 2023

MSc. Josué Tomás Urrutia

Director del Departamento de Ciencias Tecnológicas y Salud
FAREM-Estelí, UNAN-Managua

Reciba mis más respetuosos saludos

Por este medio estoy autorizando la presentación en defensa del tema de monografía titulado: ***Digestión anaerobia no controlada para producción de biogás mediante pulpa de cacao***, que se inscribe en 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).

Este presente trabajo ha sido realizado por los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Energías Renovables:

Nombres y Apellidos	**N^0 de Carnet**
Katherine Valeria Castellón Reyes	19511863
Anelvis Paulina López Blandón	18510345
Hanzell Uriel Valenzuela Ramírez	18510390

Atentamente,

Dr. Edwin Antonio Reyes Aguilera
ID ORCID: **https://orcid.org/0000-0002-0996-1567**
FAREM – Estelí, UNAN –Managua

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 metanizacion.

Palabras clave: digestión anaeróbica, fisicoquímicas orgánicas, biogás

Índice General

Capítulo I 10
1.1. Introducción 10
1.2. Planteamiento del problema 11
1.2.1. Caracterización del problema 11
1.2.2. Delimitación del problema 11
1.2.3. Formulación del problema 11
1.2.4. Sistematización del problema 11
1.3. Justificación 13
1.4. Objetivos de investigación 14
1.4.1. Objetivo general 14
1.4.2. Objetivos específicos 14
Capitulo II 15
2.1. Antecedentes 15
2.1.1. A nivel internacional 15
2.1.2. A nivel nacional 16
2.2. Marco Teórico 17
2.2.1. Biomasa 17
2.2.2. Tipos de biomasa 17
2.2.2.1. Biomasa residual 18
2.2.2.1.1. Biomasa residual agrícola 18
2.2.2.1.1.1. Pulpa de cacao 18
2.2.2.1.2. Biomasa residual forestal 19
Según los autores 20
2.2.2.2. Cultivos energéticos 20
2.2.2.2.1. Cultivos energéticos oleaginosos 20
2.2.2.2.3. Cultivos energéticos azucareros 21
2.2.2.2.5. Cultivos energéticos acuosos 21
2.3. Digestión Anaerobia 21
2.3.1. Factores que influyen en el proceso metanogénico 22
2.3.1.1. Tipo de materia prima 23
2.3.1.2. Temperatura 23

2.3.1.3. Valor de acidez (pH) 24
2.3.1.4. Humedad 24
2.3.1.5. Tiempo de retención 25
2.3.1.6. Solidos volátiles 25
2.3.1.7. Solidos fijos 25
2.3.1.8. Solidos totales 25
2.3.2. Ventajas de la digestión anaerobia 26
2.4. Biodigestor 26
2.4.1. Tipos de biodigestor 26
2.4.2.1. Carga continua 27
2.4.2.2. Carga discontinua o de régimen estacionario (Batch) 27
2.4.2.3. Carga semicontinua (Fed-Batch) 27
2.4.2.4. Biodigestor de domo flotante 27
2.4.2.5. Biodigestor de domo fijo 28
2.5. Biogás 28
2.5.1. Composición química del biogás 28
2.6. Hipótesis 29
Capitulo III 30
3.1. Diseño Metodológico 30
3.1.1. Tipo de estudio 30
3.1.2. Área de estudio 31
3.1.3. Área de conocimiento 31
3.1.4. Población y muestra 32
3.2. Matriz de operación de variables 33
1.3. Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos e información 34
1.4. Procedimientos para la recolección de datos e Información 36
1.5. Plan de tabulación y análisis estadístico 39
Capítulo IV 40
4.1. Resultados y discusión 40
4.1.1. Caracterización de propiedades fisicoquímicas de la pulpa de cacao a través de métodos de balance de masa 40
Capítulo V 50
5.1. Conclusiones 50

5.2. Recomendaciones 51
5.3. Bibliografía 52
5.4. Anexos 56

Índice de tablas

Tabla 1. Composición fisicoquímica de la pulpa de cacao. 19
Tabla 2. Composición química de la pulpa de cacao. 19
Tabla 3. Componentes químicos del biogás 28
Tabla 4. Diseño experimental 34
Tabla 5. Carbono obtenido de las muestras de cacao 40
Tabla 6. Nitrógeno obtenido de las muestras de cacao 40
Tabla 7. Relación carbono/Nitrógeno de las muestras de pulpa de cacao 40
Tabla 8. Correlación de Pearson, producción de biogás y pH temperatura (mezcla pulpa de cacao y agua) 47
Tabla 9. Correlación de Pearson, producción de biogás y la temperatura (mezcla pulpa de cacao y agua) 48
Tabla 10. Correlación de Pearson, producción de biogás y pH (Mezcla pulpa de cacao, estiércol bobino y agua) 48
Tabla 11. Correlación de Pearson, producción de biogás y temperatura 49

Índice de figuras

Figura 1. Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicofísico, mesofílicos y termofílicos. 24
Figura 2. Beneficios directos e indirectos de la digestión anaerobia 26
Figura 3. Foto tomada de Google Maps 31
Figura 4. Muestra inicial 37
Figura 5. Muestras a 115°C 37
Figura 6. Muestra sacada del horno 37
Tabla 5. Carbono obtenido de las muestras de cacao 40
Tabla 6. Nitrógeno obtenido de las muestras de cacao 40
Tabla 7. Relación carbono/Nitrógeno de las muestras de pulpa de cacao 40
Figura 8. Masa seca del sustrato 41

Figura 9. Masa húmeda del sustrato 42
Figura 10. Masa volátil del sustrato 43
Figura 11. Ceniza del sustrato 44
Figura 12. Biogás producido relación 2:1 pulpa de cacao y agua 45
Figura 13. Biogás producido de la mezcla de pulpa de cacao y estiércol bovino 46

Índice de anexos

Anexo 1. Medición del biogás obtenido 56
Anexo 2. Medición de PH 56
Anexo 3. Muestras en el horno 57
Anexo 4. Pesaje de muestras secas 57
Anexo 5. Carta de solicitud del estudio 58
Anexo 6. Ficha de recolección de datos. 59

Capítulo I

1.1. 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.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Caracterización del problema

Nicaragua es un país altamente consumidor de leña como fuente principal de combustible para la cocción de alimentos, sobre todo en las zonas rurales, agregado a esto el complemento principal que se ha encontrado es el consumo del gas propano, lo cual representa una limitante para muchas familias de escasos recursos económicos.

Según el Ministerio de Energía y Minas, (2021) la producción de biogás por parte de los biodigestores que transforman los residuos animales a través de procesos anaeróbicos, fue de 2.2 miles de tep. El consumo o demanda de energía final, se refiere a la cantidad total de productos energéticos primarios y secundarios utilizados por todos los sectores de consumo, para satisfacción de alguna necesidad energética, como puede ser la iluminación, calentamiento, transporte, entre otros.

1.2.2. Delimitación del problema

La cooperativa CAC-HERMAN.R.L posee 380 asociados que tienen un total de 781 manzanas de cacao en producción, de los cuales no se aprovechan al 100% debido a las pérdidas que hay, ya que no tienen un buen manejo, esto provoca grandes consecuencias para la salud humana, recursos naturales y contaminación de suelos por la digestión aerobia en el proceso de descomposición.

A su vez, estos asociados a la cooperativa se han encargado de despalar el cerro MUSUN de Rio Blanco, también usan gas butano lo cual genera muchos gastos, no solo por la compra, que ya representa un alto gasto, sino también por el transporte hacia sus fincas.

1.2.3. Formulación del problema

A partir de la caracterización y delimitación del problema antes expuesto, se plantea la pregunta principal del presente estudio: ¿Cómo se evalúa la producción de biogás de la pulpa de cacao mediante la digestión anaerobia no controlada en la cooperativa CAC-HERMAN? R. L, en el cerro MUSUN de Rio Blanco, departamento de Matagalpa?

1.2.4. Sistematización del problema

¿Cómo caracterizar las propiedades básicas de la pulpa de cacao a través de métodos de balance de masa?

¿Cómo determinar la producción de biogás generada en biodigestores a escala de laboratorio tipo batch?

¿Cómo determinar la correlación entre la temperatura y la producción de biogás que se obtiene en el proceso biológico anaeróbico no controlado?

1.3. Justificación

Los asociados de CAC-HERMAN.R.L. serán los principales beneficiados puesto que de implementarse la propuesta de biodigestor les permitiría la obtención de energía para cubrir las necesidades de combustible. Además, de que se le podría brindar a los campesinos una opción innovadora para sustentar sus fincas. Cabe mencionar que es buena oportunidad debido a que la gestión y manejo de estos residuos ya no producirá contaminación al aire, suelo y fuentes hídricas, esto será un impacto positivo tanto para la reserva del cerro Musun, como para los habitantes de la zona.

Es importante mencionar que económicamente es muy atractivo puesto que a los campesinos y la cooperativa no le incurriría en gasto por la compra de leña, gas butano y el dinero ahorrado puede dirigirse a otros gastos propios de las actividades de los campesinos o de la empresa, debido a que ellos pueden dirigir el dinero ahorrado a otras actividades propias de su diario vivir.

1.4. Objetivos de investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la producción de biogás de la pulpa de cacao mediante la digestión anaerobia no controlada en la cooperativa CAC-HERMAN. R. L, en el cerro MUSUN de Rio Blanco, departamento de Matagalpa.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de la pulpa de cacao a través de métodos de balance de masa.
2. Determinar la producción de biogás generada en biodigestores a escala de laboratorio tipo batch a partir de la pulpa de cacao.
3. Determinar relación entre temperatura y producción de gas mediante el proceso anaeróbico no controlado, en biodigestores tipo Bach.

Capitulo II

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel internacional

Barboza (2021), de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas realizó un estudio sobre la producción de biogás mediante codigestión anaeróbica de estiércol de caprino, aguas mieles de cacao y residuos orgánicos municipales, a nivel de laboratorio. El estudio estuvo conformado por conformado por 15 biodigestores y 15 gasómetros construidos por botellas plásticas PET para captar el biogás producido.

El proceso de medición de biogás fue por medio del método de desplazamiento de agua, los gasómetros se llenaron con agua bajo un recipiente con agua libre de burbujas de aire, sostenidos por un soporte metálico.

El estudio tuvo como resultado que la cogestión anaerobia del estiércol de caprino, aguas mieles de cacao y desperdicios de comida es factible para producir biogás llegando a obtener un máximo volumen de 1645 ml, a partir de 420 ml de estiércol, 42 ml de aguas mieles y 9 g de desperdicios de comida.

Lijarza (2022), realizó un estudio para determinar la producción de biogás a partir de la cascara del fruto del cacao, para este estudio el autor se planteó como objetivos; analizar los parámetros no controlados de pH, temperatura, humedad y relación carbono: nitrógeno, determinar el tiempo adecuado para la estabilidad degradativa anaerobia de la cáscara del fruto del cacao y por último determinar la producción de biogás y metano a escala de laboratorio.

Obteniendo como resultado un biogás con mayor eficiencia en la proporción 2:1, se analizaron los parámetros fisicoquímicos de la cáscara del fruto del cacao, en donde se obtuvo para el pH: 5.31, temperatura: 25.7°C, humedad: 75.38, relación C/N: 11.47

Merino (2019) en su tesis “Diseño e implementación de reactor anaerobio semicontinuo para aprovechamiento de cáscaras de cacao”, realizo un estudio experimental de degradabilidad anaerobia de las cáscaras de cacao, concluye comprobando la hipótesis de que la cáscara de cacao si es un sustrato viable para la alimentación de un biodigestor anaerobio.

2.1.2. A nivel nacional

Castillo y Dávila (2021), realizaron un estudio en la comunidad de Tisma en Nicaragua en el cual evaluaron maíz, trigo sorgo y cacao. Para estimar el potencial energético de la biomasa residual en el sector agrícola, con el fin de fomentar el uso de la biomasa a nivel del municipio de Tisma, para lograr el diseño de la metodología se tuvieron en cuenta conceptos de interés, como el poder calorífico inferior (PCI) que posee cada uno de los rastrojos estudiados, los potenciales energéticos, tipo residuos/cosecha, tecnologías para la extracción, los procesos de conversión de la energía, entre otros. Se plantearon fórmulas para la estimación del potencial energético presente en los diferentes residuos agrícolas, identificando las variables más importantes y las fórmulas más adecuadas que permitan de una manera más aproximada la estimación del potencial energético dependiendo las hectáreas cultivadas.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Biomasa

Por biomasa se entiende por tal al conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. Como fuente de energía presenta una enorme versatilidad, permitiendo obtener mediante diferentes procedimientos tanto combustibles sólidos como líquidos o gaseosos. De origen vegetal o animal, que incluye los materiales que proceden de la transformación natural o artificial. Cualquier tipo de biomasa proviene de la reacción de la fotosíntesis vegetal, que sintetiza sustancias orgánicas a partir del CO_2 del aire y de otras sustancias simples, aprovechando la energía del sol (Secretaría de Energía Eléctrica, 2008).

Es una fuente primaria renovable que ha generado mayor interés en el mundo durante los últimos años, debido a la oportunidad de obtener productos energéticos y no energéticos similares a los que se producen de las fuentes no renovables. En términos específicos, la biomasa es una fuente de energía renovable proveniente de los residuos de la materia orgánica, los cuales se generan principalmente de las actividades agrícolas, pecuarias, forestales, agroindustriales, acuosas, residuos urbanos y cultivos con fines energéticos (Vargas Y, 2021).

Este tipo de energía ha generado mayor interés en el gran parte del mundo durante los últimos años, debido a la cantidad de biomasa producida y por el mal manejo que se le ha dado por parte de la población. Cabe mencionar que este tipo de materia tiene como propósito en esta investigación la evaluación del potencial energético para la producción de biogás utilizando como sustrato la pupa de cacao, que es un tipo de biomasa residual agroindustrial.

2.2.2. Tipos de biomasa

La biomasa posee una diversidad de productos y subproductos y puede clasificarse como primaria y secundaria, la biomasa primaria es toda la materia vegetal procedente de las operaciones espontaneas, que su proceso es totalmente natural, desde la fotosíntesis, en cambio la secundaria se refiere a todo tipo de materia que ha tenido un procesamiento o descomposición por ayuda bacteriana o procesamiento industrial.

2.2.2.1. Biomasa residual

2.2.2.1.1. Biomasa residual agrícola

La biomasa residual agrícola se refiere a todo tipo de materia proveniente de los residuos de los cultivos residuales generada de poda, también obtenidos de los cultivos leñosos Según la composición de Carbohidratos (compuestos más abundantes en la biomasa vegetal) se puede clasificar en: (Patiño., 2014)

- **Biomasa Lignocelulosa:** en esta predominan las celulosas de hemicelulosa, holocelulosa y lignina
- **•Biomasa amilácea:** en esta predomina hidratos de carbono como el almidón y la inulina, estos son polisacáridos de reserva en los vegetales
- **Biomasa azucarada:** los hidratos de carbonos son azucares monosacáridos (glucosa o fructosa) o disacáridos como la sacarosa

Por otro lado, la (Secretaría de Energía Eléctrica, 2008) define los la biomasa residual agrícola como plantaciones cultivadas con fines alimenticios y/o industriales que no son útiles para esos usos: paja de trigo, rastrojo de maíz, tallos de algodón, etc. Aun teniendo en cuenta que una parte de estos residuos debe ser incorporada al suelo para mantener sus condiciones de fertilidad y textura, otra porción importante de los mismos puede serdestinada a su utilización energética.

2.2.2.1.1.1. Pulpa de cacao

Según Vargas. Garcia , Pazmiño, Sánchez, & Davila, Rincon , 2021 la clasificación de la pulpa de cacao es un tipo de biomasa residual de origen agroindustrial que cumple con las características necesarias para que ocurra el proceso de codigestión anaerobia a como se muestra en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Composición fisicoquímica de la pulpa de cacao.

Características	Unidades	Valores		Referencia
PH		3,19	3,45	30
Acidez Valorable	% de ácido cítrico	1,57	3,12	30
Solidos Solubles	°Brix	12,97	16,55	30
Contenido de agua	g 100 g-1	75,33	80,06	31

Fuente: (Pacheco, Huachaca & Trujillo, Dominguez , 2019)

Tabla 2. Composición química de la pulpa de cacao.

Componente	100 gr de pulpa
Agua	**79,2g**
Ceniza	**1,2g**
Fosforo	**41,0 mg**
Hierro	**0,7 mg**
Calcio	**6,0 mg**

Fuente: (Pacheco, Huachaca & Trujillo, Dominguez , 2019)

2.2.2.1.3. Biomasa residual industrial

Es la que se genera como consecuencia de cualquier proceso en que se consuma biomasa y se produce en explotaciones agrícolas, forestales o ganaderas, así como los residuos de origen orgánico generados en las industrias y en los núcleos urbanos. La utilización de biomasas residuales es, en principio, atractiva, pero limitada: en general, es más importante la descontaminación que se produce al eliminar estos residuos que la energía que se puede generar con su aprovechamiento. Sin embargo, pueden hacer autosuficientes desde el punto de vista energético a las instalaciones que aprovechan sus propios residuos tales como granjas, industrias papeleras, serrerías o depuradoras urbanas (Patiño., 2014).

2.2.2.1.2. Biomasa residual forestal

Según los autores Gomez T & Vergara M, s.f. define la biomasa forestal como la materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal tanto por encima como por debajo del suelo. La biomasa forestal se puede clasificar en:

Natural: Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana, y que se puede aprovechar como fuente energética. Como por ejemplo los troncos, hojas, ramas, frutos, etc. Residual Seca: Son los residuos que se generan en las actividades forestales o en la industria maderera y que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. Como ejemplo podemos considerar el aserrín, la cáscara de almendra, las podas de frutales, entre otras.

Residual Seca: Son los residuos que se generan en las actividades forestales o en la industria maderera y que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. Como ejemplo podemos considerar el aserrín, la cáscara de almendra, las podas de frutales, etc.

2.2.2.2. Cultivos energéticos

Los cultivos energéticos son una categoría muy amplia, que engloba a todas aquellas especies vegetales cuya producción principal se destina a la producción de biomasa con la que generar energía térmica o eléctrica o producir biocombustibles (BESEL, S.A., 2020).

Se pueden diferenciar dos tipos de cultivos energéticos: Los orientados a la producción de materiales leñosos, mediate especies de crecimiento rápido y con turnos de aprovechamiento de ciclo corto y especies herbáceas caracterizadas por su gran producción de materiales combustibles (Rosas M, Segalas J,Davila C,Oliver M, Coello J & Garrido N., 2011).

Los orientados a la producción de otros tipos de materiales vegetales mediante especies de ciclo anual, destinada a la obtención de biocombustibles (Rosas M, Segalas J,Davila C,Oliver M, Coello J & Garrido N., 2011).

2.2.2.2.1. Cultivos energéticos oleaginosos

Son plantas cultivadas específicamente por su contenido de aceite o lípidos, que pueden ser extraídos y utilizados como materias primas para la producción de biocombustibles y otros productos energéticos. Estos cultivos juegan un papel importante en la producción sostenible de biodiesel y otros combustibles lípidos (BESEL, S.A., 2020).

2.2.2.2.2. Cultivos herbáceos

Son residuos obtenidos de los cereales y de los cultivos industriales procedentes de la cosecha para grano. Están formados por restos de la parte aérea de la planta seca, que quedan en en campo después de la cosecha. En el caso de los cereales, es lo que se conoce con el nombre de paja y para el maíz recibe el nombre de cañota (Cantero, 2009).

2.2.2.2.3. Cultivos energéticos azucareros

Son aquellos destinados a la producción de azúcar a partir de su contenido en sacarosa. La sacarosa es un tipo de azúcar que se extrae principalmente de plantas como la caña de azúcar y la remolacha azucarera. Estos cultivos son esenciales para la producción de azúcar, un componente clave en la industria alimentaria y también se utiliza como materia prima en la producción de biocombustibles (BESEL, S.A., 2020).

2.2.2.2.4. Cultivos leñosos

Generan biomasa residual, potencialmente aprovechable energéticamente de dos formas diferenciadas, como residuos de la poda o como residuos producidos al arrancar planeación. Los residuos de poda son potencialmente aprovechables son los dos de la poda de invierno, considerando que las podas de verano no son factibles de aprovechar, por su poca cantidad y porque, en general, se trata de brotaciones poco lignificadas (Cantero, 2009).

2.2.2.2.5. Cultivos energéticos acuosos

Son plantas cultivadas en ambientes acuáticos, con el propósito principal de producir biomasa para la generación de energía. Estos productos pueden tener aplicaciones en los biocombustibles, bioelectricidad u otras formas de energía renovables (Rosas M, Segalas J,Davila C,Oliver M, Coello J & Garrido N., 2011).

2.3. Digestión Anaerobia

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. (Acosta Lorenzo, Obaya Abreu, Ma Cristina, 2020).

La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad, como restos de comida, restos de hojas y hierbas al limpiar un jardín o un huerto, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales (Cardozo, F, 2019).

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70 %) y dióxido de carbono (30 a 50 %), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí (Acosta Lorenzo, Obaya Abreu, Ma Cristina, 2020).

2.3.1. Factores que influyen en el proceso metanogénico

El proceso metanogénico se da gracias al trabajo degradativo de las bacterias, pero existen diferentes factores que hacen más factible el proceso de codigestión.

Las características del sustrato influyen en el proceso metano génico. Por ejemplo, el contenido de materia seca, el potencial de acidificación y los riesgos patógenos determinan la cantidad y calidad de biogás a producir; de esta manera, uno de los factores que más inciden en la eficiencia del proceso es el tipo, calidad y composición del sustrato, medido principalmente por la relación carbono-nitrógeno C/N, el pH y el tamaño de partícula. La relación C/N es la variable más significativa en el proceso de DA, esta expresa las proporciones relativas de carbono y nitrógeno en la materia orgánica, generalmente se utiliza un analizador elemental para su medición y se consideran valores óptimos del rango 16:1 - 25:1.

Un incremento excesivo del C/N provoca un consumo rápido del nitrógeno por parte de las bacterias que, al tratar de suplir el déficit de proteína en el sustrato, reducen la producción de biogás. Por otra parte, una disminución excesiva del C/N libera nitrógeno que se acumula en forma de amoniaco, lo que aumenta la acidez del pH y como consecuencias crea un ambiente tóxico para las bacterias. Un pH neutro es favorable para la producción de biogás y se considera óptimo el rango entre 6,7-7,5 (Parra Ortiz, 2019)

2.3.1.1. Tipo de materia prima

Las principales fuentes de sustratos pueden provenir de cultivos y residuos agrícolas, aguas residuales, algas marinas, residuos sólidos municipales, estiércol y desechos animales, desechos biodegradables industriales, maleza, cultivos y residuos forestales, entre otros. (Parra Ortiz, 2019).

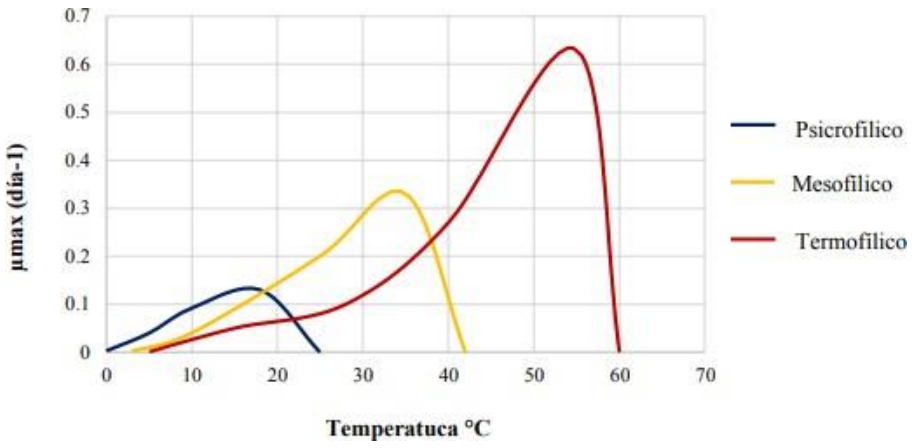
Para que el proceso microbiológico ocurra no solo requiere de fuentes de carbono ynitrógeno, sino que también debe estar presente en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores (Reyes, Aguilera, 2018).

Siguiendo en este mismo contexto, normalmente los residuos orgánicos obtenidos a partir de los desechos agroindustriales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo, en la digestión de ciertos desechos agroindustriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de diferentes compuestos para llegar a un sustrato ideal (Pacheco, Huachaca & Trujillo, Dominguez , 2019).

2.3.1.2. Temperatura

La temperatura Interviene en el crecimiento y desarrollo de los microorganismos que participan en la digestión anaerobia, como se muestra en la figura 1, generalmente es posible aplicar tres rangos de temperatura (psicofísica, mesofílica y termofílica), usualmente las condiciones psicrofílicas (12-15°C) declinan la velocidad de crecimiento de los microorganismos y la actividad metanogénica, la DA en condiciones termofílicas (55-70°C), tienen una ventaja sobre la DA en condiciones mesofílicas (37°C) en cuanto a la velocidad de reacción, teniendo una mayor productividad, sin embargo los microorganismos metanogénicos digieren la materia orgánica con mayor eficiencia a temperatura mesofílica, además, cabe mencionar que los cambios de temperatura bruscos, pueden disminuir la producción de metano (Huaraya, Huahualuque & Sancho, Moya, 2020).

Figura 1. Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicofísico, mesofílicos y termofílicos.



Fuente: (Huaraya, Huahualuque & Sancho, Moya, 2020)

2.3.1.3. Valor de acidez (pH)

El potencial de hidrógeno mantiene gran importancia en procesos de digestión anaerobia, ya que está relacionado con la acidificación que afecta de manera negativa a dicho proceso, motivo por el cual, se requiere de valores de pH cercanos a la neutralidad para una mayor eficiencia en los grupos microbianos (Lara, 2021).

Lara, Dolly Karoline (2021), también indican que el pH óptimo para el proceso de digestión anaerobia se encuentra entre 6.5 y 7.5, no obstante, puede llegar a producirse en pH menores y mayores. Este parámetro, posee una gran influencia sobre la estabilidad del proceso, dado a que las bacterias metanogénicas son susceptibles a pequeños cambios de pH. Esta variable puede llegar a afectar la producción de metano, debido a las diferentes poblaciones microbianas que intervienen en este proceso. Esto ocurre cuando las bacterias acidogénicas y acetogénicas producen más ácido de lo que pueden consumir las bacterias metanogénicas. Por lo tanto, es necesario utilizar un tampón que permita nivelar el pH dentro del sistema, evitando de esta manera que se acidifique.

2.3.1.4. Humedad

Es el contenido acuoso que se encuentra en una sustancia. En el cual la humedad afecta el desarrollo de transformación energética de la biomasa. La biomasa con un contenido de humedad bajo del 50 - 60 % se puede utilizar para generar calor mediante combustión. Gran parte de las conversiones de energía, es esencial que la biomasa no supere el 30% de humedad. En una humedad superior al 50% se sugiere que los residuos orgánicos se utilicen como fuente de energía a través de procesos bioquímicos como la fermentación o la digestión anaerobia (Lijarza, Galvez, 2022).

2.3.1.5. Tiempo de retención

Se le denomina así al tiempo que permanece la materia orgánica dentro del digestor, recordemos que estos tiempos varían según la temperatura a que se ve sometida la materia prima (Cardozo, F, 2019).

2.3.1.6. Solidos volátiles

Son aquella porción de sólidos totales que se libera de una muestra, volatilizándose cuando se calienta durante dos horas a 600ºC. Los SV contienen componentes orgánicos, los que teóricamente deben ser convertidos a metano (FAO, 2011).

2.3.1.7. Solidos fijos

Material que no será transformado durante el proceso y es el peso que queda después del encendido (cenizas), se trata de material biológicamente inerte. Los sólidos fijos son el residuo de los sólidos totales, disueltos o suspendidos, después de llevar una muestra a sequedad durante un tiempo determinado a 550°C (Reyes Aguilera, 2019).

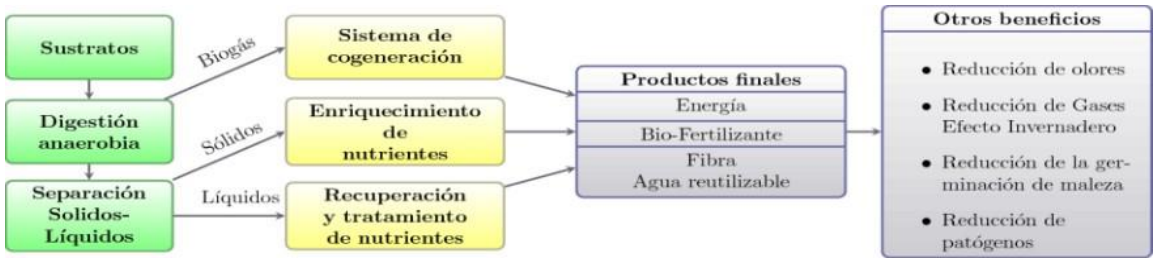
2.3.1.8. Solidos totales

Los sólidos totales se refieren a los residuos del material que permanecen en el recipiente después de la evaporación de la muestra secada en el horno a una temperatura definida (103-105°C). Los sólidos totales muestran la cantidad de materia sólida, que se encuentra dentro del biodigestor para una correcta agitación y mezclado. Es indispensable mantener el valor en un rango del 5-10% para evitar la formación de sedimentos, y puntos muertos dentro del

biodigestor. Un mayor valor de TS puede influenciar la digestión, debido a que la movilidad de las bacterias metanogénicas se encuentra limitada (Tzu, 2015).

2.3.2. Ventajas de la digestión anaerobia

Figura 2. Beneficios directos e indirectos de la digestión anaerobia.



Fuente: (Parra Ortiz, 2019)

2.4. Biodigestor

Los digestores toman su término de digestivo o digestión, estas son máquinas simples que convierten las materias primas en subproductos aprovechables, en este caso gas metano y abono, comúnmente se los denomina Biodigestores. El principio básico de funcionamiento es el mismo que tienen todos los animales, descomponer los alimentos en compuestos más simples para su absorción mediante bacterias alojadas en el intestino con condiciones controladas de humedad, temperatura y niveles de acidez (Cardozo, F, 2019).

Agregando a lo anterior se puede definir a los biodigestores como sistemas que producen biogás y fertilizante a partir de materia orgánica. Estos son sistemas en los que, en ausencia de oxígeno y presencia de consorcios bacterianos adecuados, se desarrolla de forma natural la digestión anaerobia y se captura el biogás producido. Un biodigestor en su funcionamiento es similar a un sistema digestivo animal: entra materia orgánica, que es digerida por bacterias, produciendo gases (biogás) y produciendo un subproducto líquido que tiene un alto valor como fertilizante (Jaime, 2019).

2.4.1. Tipos de biodigestor

Los biodigestores se pueden clasificar de diferentes maneras, dependiendo del tipo de proceso que emplee, es decir según al sistema de abastecimiento de materia prima, por ejemplo, lo son los biodigestores de carga continua, carga descontinua, carga semicontinua entre otros (Navaez & Roy, 2016).

2.4.2.1. Carga continua

Estos biodigestores permanecen cargados y descargados de forma regular y periódica, de tal manera que la obtención de biogás y fertilizante es permanente (Navaez & Roy, 2016).

2.4.2.2. Carga discontinua o de régimen estacionario (Batch)

Se le denomina biodigestor tipo batch cuando el ciclo de producción de gas y fertilizante ocurre solo cuando hay materia prima, es decir, entre su carga y descarga, y se reinicia el proceso con una nueva carga. Se sella el digestor y la fermentación puede durar entre 30 y 180 días, para un contenido en sólidos orgánicos del 6 al 10%. Es conveniente su uso cuando la materia prima está disponible de forma intermitente (Navaez & Roy, 2016)

2.4.2.3. Carga semicontinua (Fed-Batch)

En estos tipos de biodigestores se introduce una primera carga de materia prima de gran cantidad, y a medida que el rendimiento del gas va disminuyendo, se le agregan nuevas cargas de forma gradual y se obtiene efluente en la misma cantidad (Navaez & Roy, 2016).

Igualmente, en esta misma línea, los biodigestores también se pueden clasificar según su tecnología y forma de construcción (ISTEC, 2019).

2.4.2.4. Biodigestor de domo flotante

También llamado de cúpula móvil o hindú, este modelo de digestor consta de un tambor de acero o de fibra de vidrio reforzado con plástico (FRP), hecho que lo encarece bastante; un tambor con paredes y fondo de ladrillo, y su construcción es vertical. El gas es retenido bajo una tapa flotante (Navaez & Roy, 2016).

2.4.2.5. Biodigestor de domo fijo

El modelo chino de digestor consiste en una cámara de gas de volumen fijo construida de ladrillo, piedra, hormigón o adobe y recubierta por capas de mortero. La cúpula y el fondo son hemisféricos y las paredes que los unen tienen forma cilíndrica. El gas se acumula debajo del domo que al no ser flexible llega a tener presiones muy altas (1-1.5 mH2O), por esta razón, la estructura tiene formas redondeadas. (Navaez & Roy, 2016).

2.5. Biogás

El biogás es el nombre que recibe la mezcla de gases producida en la digestión anaerobia, y se caracteriza por tener, en general, un 50 % -70 % de metano (CH_4), 40-20 % de dióxido de carbono (CO_2) y trazas de otros gases, entre los que cabe destacar el ácido sulfhídrico (H_2S). Lo interesante es el metano producido, que es combustible. De esta forma, los residuos orgánicos tienen el potencial de producir un gas combustible como es el biogás. Además, la captura de este metano y su combustión (transformándolo en CO_2) reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se produciría en la descomposición de los estiércoles sin tratamiento (Jaime, 2019).

2.5.1. Composición química del biogás

Por lo general la composición del biogás estandarizada por ciertos componentes químicos, aunque esta composición puede verse afectada por la relación entre la cantidad de materia prima, tipo de materia prima y su potencial producción de biogás (Navaez & Roy, 2016).

Tabla 3. Componentes químicos del biogás

Gas	Porcentaje
Metano (NH4)	55-65%
Dióxido de carbono (CO2)	35-45%
Nitrógeno (N)	0-3%
Hidrógeno (H)	0-1%
Oxígeno (O2)	0-1%
Ácido sulfhídrico (H2S)	Trazas

Fuente: (Navaez & Roy, 2016)

2.6. Hipótesis

En el proceso biológico anaeróbico no controlado, la producción de biogás mediante la pulpa de cacao como materia orgánica biodegradable tendrá una la relación de causalidad significativa en cuanto a la producción de biogás y generará buenos rendimientos siempre y cuando los parámetros físicos (temperatura) y químicos (pH, C, N) se encuentren en sus rangos óptimos

Capitulo III

3.1. Diseño Metodológico

3.1.1. Tipo de estudio

De acuerdo con el paradigma epistemológico en este estudio se encuentran las variables independientes en diversos niveles de la experimentación, verificando así la hipótesis a través de métodos estadísticos descriptivos e inferenciales, por ello, el paradigma que sustenta esta investigación es el positivista.

Según el enfoque de la investigación es cuantitativo, cada etapa predetermina la siguiente y no se puede omitir pasos, tiene que ver meramente con la cantidad, por ellos, su medio principal y único es la medición y el cálculo que se realiza a través de las debidas ecuaciones. De acuerdo con el método de investigación el estudio es experimental, porque se provocan manipulaciones, donde se pueden llegar a modificar las variables independientes, cuando se observa cambios en efectos de variables dependientes, orientando hacia un futuro.

Acorde a su propósito la presente investigación es Aplicada o Tecnológica perteneciente al contexto de la aplicación. Se caracteriza por estar orientada hacia un objetivo práctico determinado, que conduce a la creación de nuevos dispositivos, productos y procedimientos, en este caso es una cocina solar tipo colector plano.

Según el nivel de profundidad es descriptivo, ya que el investigador se limita a medir las características o la distribución de in fenómeno en una población en un momento determinado, están dirigido a determinar cómo es o como está la situación de las variables que se estudian en una población.

De acorde a su clasificación es correlacional, debido a que este estudio tiene como finalidad conocer el grado de relación que existan entre las variables. Según el tiempo en el que ocurren los hechos y el registro de la información, el estudio es prospectivo, porque se registra la información según van ocurriendo los fenómenos.

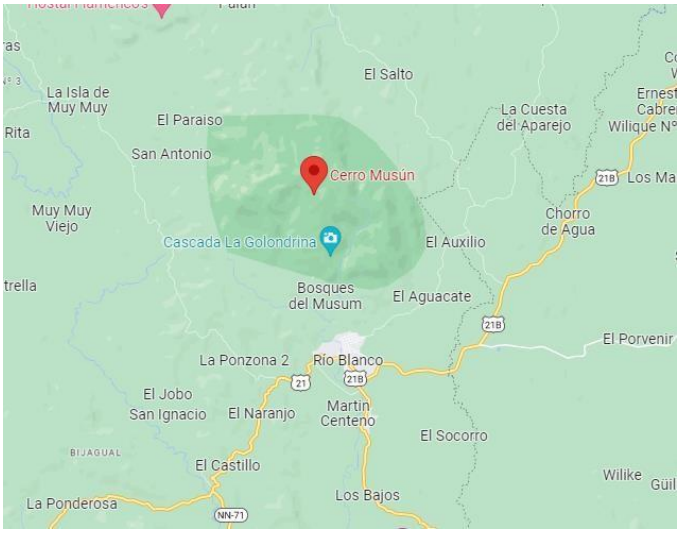
Por el periodo y la secuencia el estudio es longitudinal, porque se estudia una o más variables a lo largo de un periodo, que varía según el problema planteado en la investigación y las características de la variable que se estudia. En este tipo de investigación el tiempo es

importante, debido al comportamiento de las variables que se mide en un periodo dado o porque el tiempo es determinante en la relación causa- efecto.

3.1.2. Área de estudio

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

Figura 3. Foto tomada de Google Maps



3.1.3. 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)

3.1.4. 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. Esta investigación se trato 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 dos veces a temperatura ambiente.

3.2. Matriz de operación de variables

Objetivo general: Evaluar los residuos orgánicos para la producción de biogás de los asociados de CAC-HERMAN.R.L., en Musun Rio Blanco, departamento de Matagalpa, durante el periodo de septiembre-noviembre en el año 2023

Objetivos específicos	**Variable Conceptual**	**Sub Variables o Dimensiones**	**Variable Operativa Indicador**	**Técnicas de recolección de datos e información**
Caracterizar las propiedades básicas del sustrato.	Propiedades fisicoquímicas	1. Masa húmeda 2. Masa seca 3. Masa de cenizas 4. Sólidos volátiles 5. Relación C/N (Carbono/Nitrógeno)	1. Cantidad de agua presente en la muestra. 2. Peso de la materia que queda después delprimer sometimiento al horno a 150^0C 3. Peso de la materia seca que queda después del quemado. 4. Peso de las porciones de materia orgánica tras calcinar los residuos 5. Permite conocer la capacidad mineralizadora del residuo solido en procesos de recuperación y aprovechamiento de la materia orgánica.	Experimento de laboratorio
Determinar la producción de biogás a escala de laboratorio.	Producción de biogás a escala de laboratorio	1. Producción de biogás generado 2. Tiempo de retención	1. Biogás producido en mililitros 2. Tiempo de degradación	

Determinar relación entre temperatura y producción de gas mediante el proceso anaeróbico no controlado.	Relación entre temperatura y producción de gas	1. Temperatura 2. Producción de Biogás	Grados Celsius al que fueron sometidos las unidades experimentales ntidad de biogás producidos por los ctores	

1.3. Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos e información

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 se constituyó 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 codigestión y el 25 % del reactor a la cámara de salida del almacenamiento de biogás.

Tabla 4. Diseño experimental

Tipos	**Características**	**Procesos**
Variables dependientes	Sustrato	• Utilizar pulpa de cacao como sustrato para la producción de biogás y seleccionar reactores anaeróbicos de tamaño y diseño uniforme

		para mantener condiciones controladas.
Variables independientes	• Temperatura: Variar entre diferentes niveles • pH: • Carbono/Nitrógeno	• La temperatura Interviene en el crecimiento y desarrollode los microorganismos que participan en la digestión anaerobia, generalmente es posible aplicar tres rangos de temperatura • Mantener niveles óptimos de pH, neutralizando la acidez con • Variar las concentraciones de C y N en el sustrato

1.4. 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 que se siguió fue de acuerdo con la metodología utilizada por (Reyes, 2019)

Primeramente, se realizó la selección del sustrato. Este se escogió 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 obtuvo 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 introdujeron en un horno en capsulas de porcelana, a una temperatura de 115°C durante 12 horas durante un tiempo determinado.

Figura 4. Muestra inicial

Figura 5. Muestras a 115°C

Figura 6. Muestra sacada del horno

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 se cargó los biodigestores bajo un procedimiento, el cual consiste en una relación 2:1, esto representa que, por cada 2 Kg de materia orgánica, se introdujo 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 consistió en llenar un recipiente y una probeta con agua, luego se introdujo la probeta dentro del recipiente, posteriormente se introdujo 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.

1.5. 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, consistió 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 $H0: \rho = 0$ (Casanoves, 2007).

De acuerdo con Rodriguez, 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.

Capítulo IV

4.1. 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 5. 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

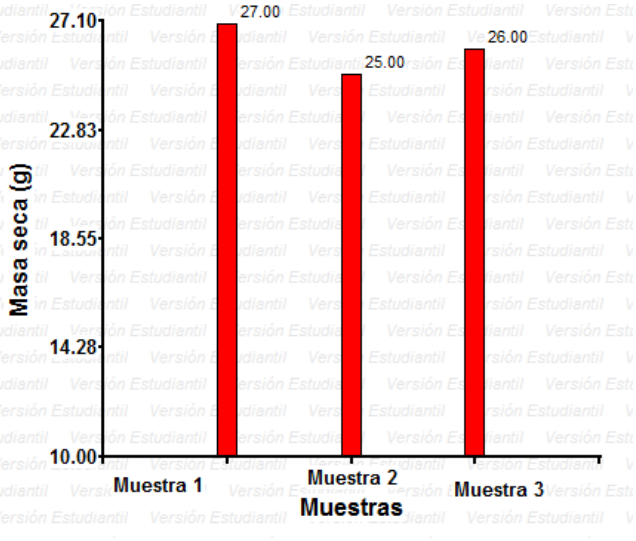
Tabla 6. Nitrógeno obtenido de las muestras de cacao

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 7. 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

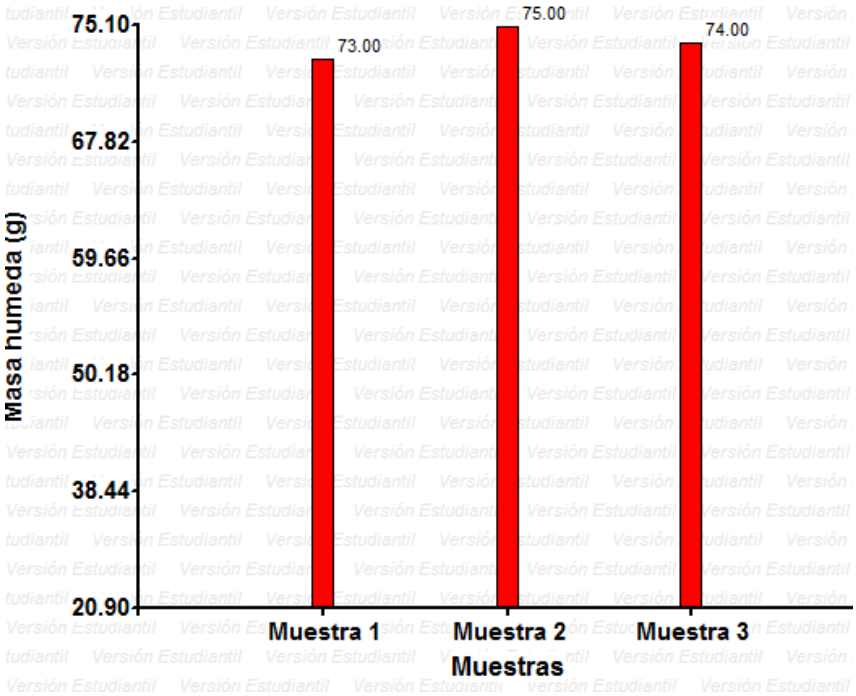
Figura 8. Masa seca del sustrato



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

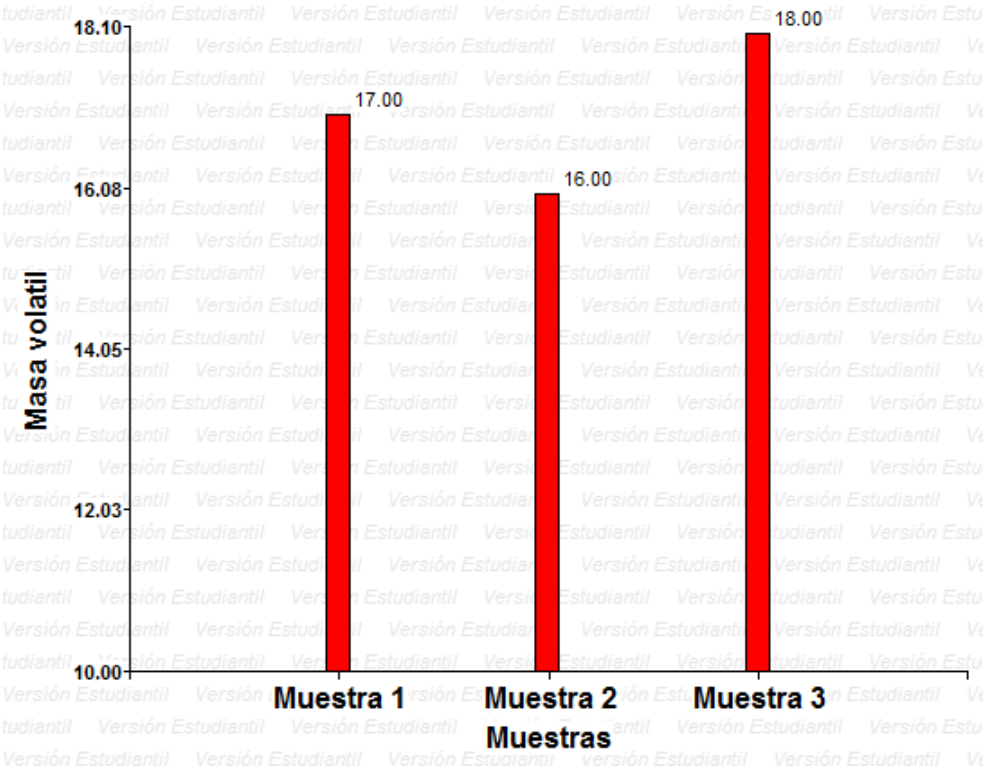
El estudio arrojo un perfil de media de 26 gramos equivalente a 26% de masa seca, esto coincide con lo reportado por Ligarza (2022) quien obtuvo un resultado de masa seca equivalente a 24.62%.

Figura 9. Masa húmeda 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 humeda.

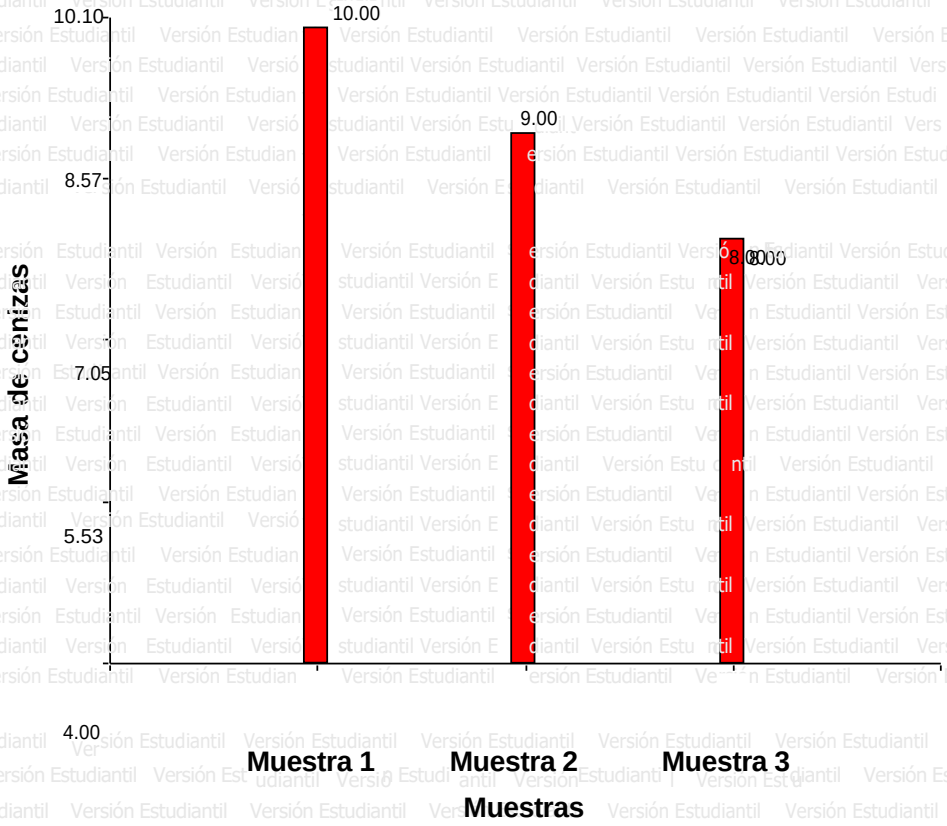
Figura 10. Masa volátil del sustrato



Según la FAO 1a masa volátil representa aquella porción de sólidos totales que se libera de una muestra, volatilizándose cuando se calienta durante dos horas a 600ºC.

Para la determinación de la masa volátil en este estudio, 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 de11.13% en masa volátil.

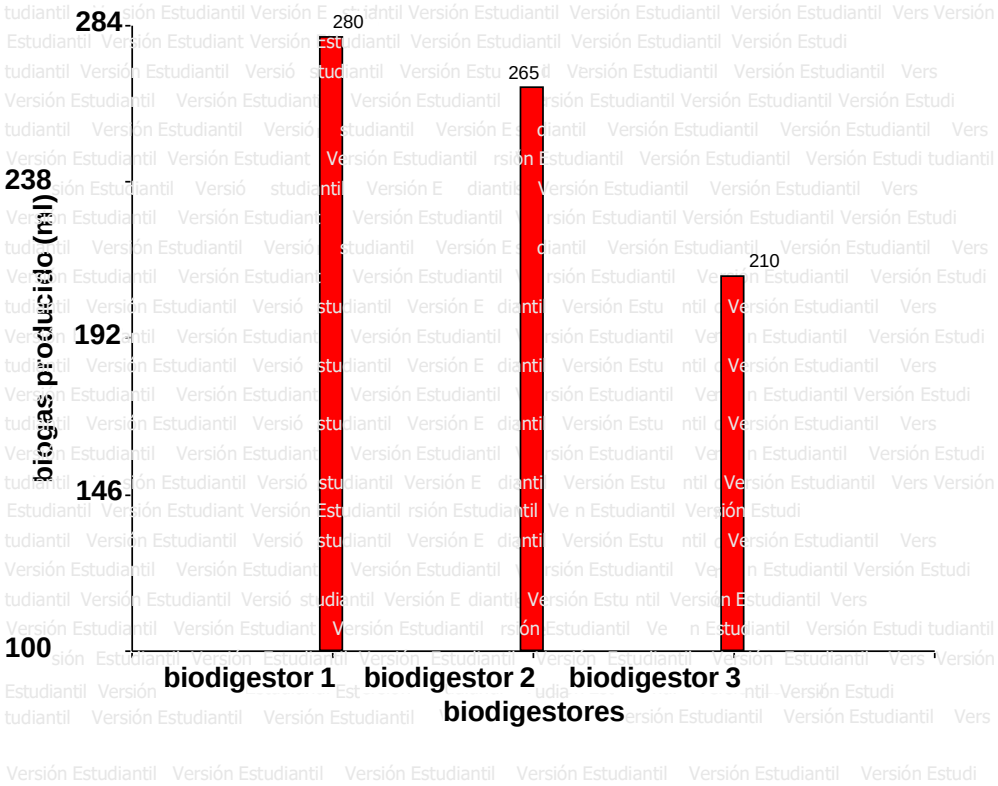
Figura 11. Ceniza del sustrato



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.

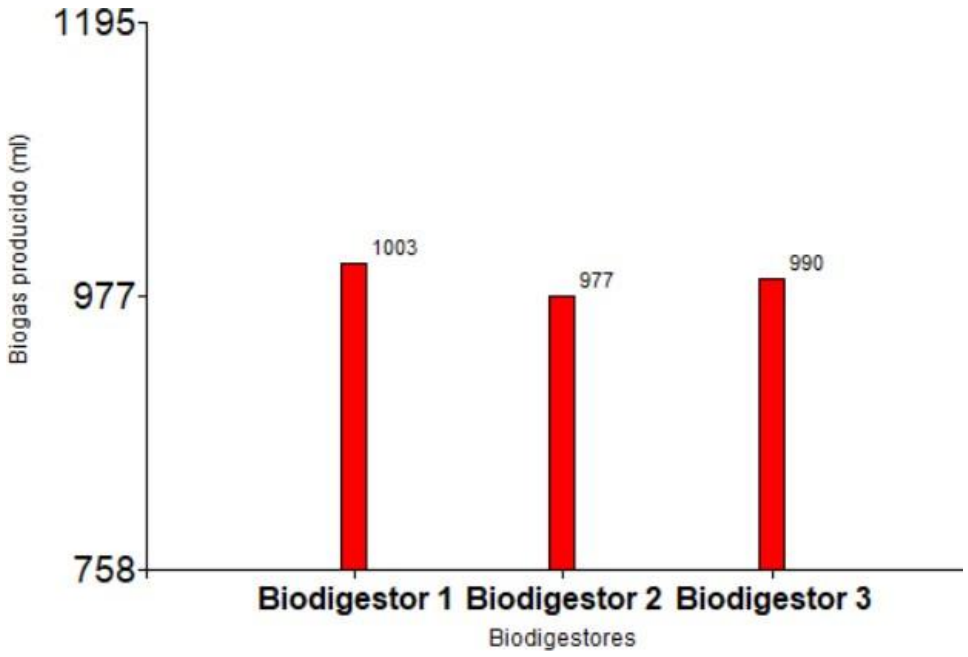
Figura 12. Biogás producido relación 2:1 pulpa de cacao y agua



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 (CH_4), 40-20 % de dióxido de carbono (CO_2) y trazas de otros gases,

El análisis arrojo 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 13. Biogás producido de la mezcla de pulpa de cacao y estiércol bovino



Para la determinación de la producción de biogás se realizaron tres réplicas de biodigestores cargados con una mezcla de pulpa de cacao, estiércol bovino y agua.

El análisis arrojo un perfil de media de 990.00 ml de biogás producido, este resultado difiere con el resultado anterior que nos dio una media de 251 ml en el cual solo se utilizó pulpa de cacao como sustrato, por otra parte este resultado coincide 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.

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 H0: $\rho = 0$ (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 8. Correlación de Pearson, producción de biogás y pH temperatura (mezcla pulpa de cacao y agua)

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 Ho: $\rho = 0$, esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe

correlación entre las variables pH y producción de biogás. De ahí que, se confirma la hipótesis de que el pH cuando se encuentra en los niveles óptimos está asociado con la producción de biogás.

Tabla 9. Correlación de Pearson, producción de biogás y la temperatura (mezcla pulpa de cacao y agua)

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 Ho: $\rho = 0$, 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 40ºC 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.

Tabla 10. Correlación de Pearson, producción de biogás y pH (Mezcla pulpa de cacao, estiércol bobino y agua)

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Biogás producido	pH	3	0.87	0.03926

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables producción de biogás y pH, dio como resultado un coeficiente de correlación "r" igual a 0,87, indicando que se tiene una relación positiva entre las variables. Este moderado valor del "r" fue obtenido con un p = 0,03926, el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de Ho: $\rho = 0$, esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, demostrando que existe correlación entre las variables producción de biogás y pH . De ahí que, se confirma la hipótesis de que el pH cuando se encuentra en los niveles óptimos está asociado con la producción de biogás.

Tabla 11. Correlación de Pearson, producción de biogás y temperatura

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Biogás producido	temperatura	3	0.85	0.03433

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 0,85, el cual es un valor próximo a 1, indicando que se tiene una fuerte relacion entre las variables. Este fuerte valor del "r" fue obtenido con un p = 0,03433, el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de Ho: $\rho = 0$, 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.

Capítulo V

5.1. 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.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda usar siempre muestras frescas para los sustratos, dado que los microorganismos que realizan la digestión son anaerobios y la prolongada exposición al ambiente reduce el número de microorganismos afectando la producción de biogás.

Debido a que el sustrato de pulpa de cacao posee un pH bajo para la proliferación de bacterias anaerobias, se recomienda mezclarlo con una base de alcalinidad (Bicarbonato sódico, cal, entre otros) para llevarlas a un pH neutro (7) para que de esta manera inicie adecuadamente el proceso.

Mezclar la pulpa de cacao con otros sustratos (estiércol bovino) para potencia el proceso de metanizacion y neutralizar el pH de la pulpa de cacao, para obtener mejores resultados

5.3. Bibliografía

Acosta Lorenzo, Obaya Abreu, Ma Cristina. (2020). *Digestion anaerobia.* España.

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

[Biomasa]. (s.f). *BIOMASA, BIOCOMBUSTIBLES Y SOSTENIBILIDAD.* Recuperado el 10 de 06 de 2023

Barboza W. (2021). Chachapoyas, Peru. Recuperado el 20 de 10 de 2023, de https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/2437/Barboza%20Cholan%20Willian%20Armando.pdf?sequence=2&isAllowed=y

BESEL, S.A. . (2020). *Cultivos energeticos.*

Madrid.BESEL, S.A. (2020). *Cultivos*

energeticos. Madrid.

Cantero, C. (2009). *Biomasa.* España: Catedra de UNESCO.

Cardozo, F, J. A. (2019). PROPUESTA DE BIODIGESTOR ANAEROBIO DE FLUJO CONTINUO PARA EL TRATAMIENTO DE ESTIÉRCOL BOVINO Y AGUAS RESIDUALES. *Revista caribeña de cienciassociales*. Obtenido de file:///C:/Users/Ing.%20Valenzuela/Downloads/Dialnet-PropuestaDeBiodigestorAnaerobioDeFlujoContinuoPara-9066649.pdf

Enrique Castillo, José Moncada. (Marzo de 2021). *UNI POSGRADO.* Obtenido de https://ribuni.uni.edu.ni/3945/1/95569.pdf

FAO. (10 de 05 de 2011). *Manual de biogas.* Santiago: Proyecto CHI/00/G32 . Obtenido de https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf

Gomez T & Vergara M. (s.f.). *Biomasa Forestal.* Recuperado el 30 de 10 de 2023, de http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/InformeBiomasa.pdf

Huaraya, Huahualuque , M. Y., & Sancho, Moya, T. C. (2020). (tesis para optar al grado de licenciatura). *Estado del arte sobre la producción de biogás mediante la digestión anaerobia como parte del aprovechamiento de la biomasa residual pecuaria.* UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN, Juliaca.

ISTEC. (2019). *Relevamineto, Evaluacion y optimizacion de biodigestores* .

Jaime, H. (2019). *Biodigestores Tubulares Guia de diseño y manual de instalacion.* Ecuador:Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional. Recuperado el 17 de 10 de 2023, de file:///C:/Users/Ing.%20Valenzuela/Downloads/L-IKIAM-000005.pdf

Jonathan Sevilla, N. P. (2019). *Analisis productivo en la transformacion del cacao en la cooperativa Jorge Salazaren la Dalia.* Esteli.

La cal, Herrera , J. A. (2020). Energia de la biomasa y el agua. En J. A. La cal, Herrera , *Energia de labiomasa y el agua* (pág. 268). España: Editorial Elearning, S.L. Recuperado el 19 de 09 de 2023, de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dyH6DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=de fin iciones+de+biomasa&ots=Gxn_-JgVs_&sig=VSpcU4nhD_a7xzmN7qrBxy0LjKM#v=onepage&q&f=false

Lara, D. K. (2021). (tesis para optar al grado de licenciatura). *"Determinación del potencial metanogénico para la co-digestión anaerobia de los residuos de frutas tropic.* UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, Guayaquil. Obtenido de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/57455/1/BINGQ-IQ-21P31.pdf

Lijarza, Galvez, Y. I. (2022). (tesis para optar al grado de licenciatura). *PRODUCCION DE BIOGAS APARTIR DE LA CASCARA DEL FRUTO DEL CACAO (Theobroma cacao L.) A NIVEL DE LABORATORIO*. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, Tingo Maria.

LIJARZA, GALVEZ, Y. I. (2022). (tesis para optar al grado de licenciatura). *PRODUCCION DE BIOGAS APARTIR DE LA CASCARA DEL FRUTO DEL CACAO (Theobroma cacao L.) A NIVEL DE LABORATORIO*. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, Tingo Maria.

Lijarza., Y. (2022). *PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE LA CASCARA DEL FRUTO DEL CACAO.* Tingo Maria, Perú. Recuperado el 24 de 10 de 2023, de http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2352/TS_YIG_2022.pdf?s equence=1&isAllowed=y

Marti Rosas, Jordi Segalas, Celso Davila, Jose Chiroque, Oliver Marcelo,Javier Coello y Nuria Garrido. (2011). *Evaluacion de recursos naturales.* España: Asthriesslav Rocuts,Elisabet Amat.

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

Merino, M. (Agosto de 2019). Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/6f0aa872-aa47-4020-99a4- 75220511fe16/content

Navaez, & Roy, E. (2016). *Biodigestores biofiltros y pulperos.* Cajamarca.

Orozco E, Torrez H & Lopez J. (2022). Evaluación del lactosuero, excretas de vacuno y caprino a través de la codigestión anaerobia no controlada. Esteli, San Nicolas, Nicaragua. Recuperado el 09 de 11 de 2023

Pacheco, Huachaca, N. C., & Trujillo, Dominguez , J. J. (2019). Tesis para optar a Título Profesionalde Químico Farmacéutico. *Obtención de etanol por fermentación alcohólica a partir del exudado de la pulpa de cacao.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.

Parra Ortiz. (2019). Biomasa residual pecuaria: revisión sobre la digestión anaerobia como método de producción de energía y otros subproductos. *Revista UIS Ingenierías*, 149. Recuperado el 2023, de https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/8343/8558 Patiño.,

P. (2014). *Biomasa residual vegetal.* Recuperado el 15 de 10 de 2023

Ramirez W, C. M. (1 de 07 de 2022). DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE BIOGÁS A PARTIR DERESIDUOS CÁRNICOS PORCINOS MEDIANTE BIODIGESTORES DE LABORATORIO TIPO
BATCH, EN EL AÑO 2021. Esteli, Nicaragua. Recuperado el 19 de 11 de 2023, de https://repositorio.unan.edu.ni/20284/1/20625.pdf

Reyes Aguilera, P. C. (2019). Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de las excretas de ganado, caballo, cerdo y gallinaza para la generación de biogás. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 14.

Reyes, Aguilera, E. A. (2018). Generación de biogás, mediante el proceso de digestión anaerobia,. *(tesis de Doctor en Gestión y Calidad de la Investigación Científica).* Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua, Esteli.

Reyes, E. (2019). *Generación de biogás, mediante el proceso de digestión anaerobia,.*

Rodriguez. (2012). *Corelacion de Pearson.* España.

Rosas M, Segalas J,Davila C,Oliver M, Coello J & Garrido N. (2011). *Evaluacion de recursos naturales.* España: Asthriesslav Rocuts,Elisabet Amat. Recuperado el 29 de 10 de 2023

Salvadora Huete, M. G. (2023). *Evaluacion de las caracteristicas organolepticas de mermelada de mucilago de cacao.* Managua.

Secretaría de Energía Eléctrica. (2008). *Energía Biomasa.* Recuperado el 24 de 10 de 2023, de https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_biomasa.pdf

Tamayo y Tamayo,M. (2003). *El proceso de la investigación científica, Cuarta edición.* Mexico: LIMUSA: G. N. Editores, Ed.

Tzu, H. u. (2015). (tesis para optar al grado de licenciatura). *Estudio de la dependencia de la temperatura en la digestión anaeróbica de desechos de fruta.* UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO, Quito.

Vargas Garcia , Yadira Pazmiño,Joffre Davila, . (2021). Potencial de Biomasa en América del Sur parala Producción de Bioplásticos. *Revista Politecnica (Quito)*. Recuperado el 19 de 09 de 2023,de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292021000400007#aff2

Vargas Y, P. J. (2021). Potencial de Biomasa en América del Sur para la Producción de Bioplásticos. *Revista Politecnica (Quito)*. Recuperado el 19 de 09 de 2023, de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292021000400007#aff2

Vargas. Garcia , Y., Pazmiño, Sánchez, J., & Davila, Rincon , J. (2021). Potencial de Biomasa en América del Sur para la Producción de Bioplásticos. *Revista Politecnica (Quito)*, 200. Recuperado el 19 de 09 de 2023, de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292021000400007#aff2

5.4. Anexos

Anexo 1. Medición del biogás obtenido

Anexo 2. Medición de PH

Anexo 3. Muestras en el horno

Anexo 4. Pesaje de muestras secas

Anexo 5. Carta de solicitud del estudio

COOPERATIVA DE AHORRO, CREDITO Y SERVICIOS MULTIPLES, RIO BLANCO - PAIWAS
HERMANDAD CAMPESINA. R.L.
C.A.C. HERCAM R.L

Rio Blanco, 30 de agosto de 2023.

Dr. Edwin Antonio Reyes Aguilera.
Coordinador Energías Renovables.
UNAN-MANAGUA.
FAREM-ESTELI.

Sus manos:

Reciba de mi parte un saludo fraterno

Me dirijo a su honorable persona de la manera más humilde, atenta y cordial para solicitarle nos apoye con un estudio sobre el **uso de biogás a base de la cascara de cacao**, solicitamos este estudio ya que contamos con 380 asociados que tienen un total de 781 manzanas de cacao en producción , estos productores están ubicados en el municipio de Rio Blanco departamento de Matagalpa , específicamente en la zona de amortiguamiento de la reserva del cerro MUSUN, es de nuestro interés contribuir aún más con la **no deforestación** de nuestro cerro, por lo que queremos motivar a nuestros productores de manera practica ,demostrativa y con datos comprobados de lo ventajoso que sería el uso de biodigestores en sus fincas , ya que de esta manera las socias, esposas e hijas de nuestros asociados dejarían de usar leña evitando así enfermedades pulmonares , también evitando cortar árboles para leña ,disminuir los costos por compra de gas el que ya tiene un precio alto en cuanto al precio de compra al que se le tiene sumar el costo de transporte de la ciudad hacia las fincas de nuestros asociados. Otra ventaja seria que mejoraría la calidad de vida de nuestros asociados y sus familias.

Sabemos que acudimos a buenas manos y le pedimos que tome un poco de su valioso tiempo para realizar las gestiones necesarias para que se nos apoye con el desarrollo de este tema (**Uso de biogás a base de la cascara de cacao**) a través de usted y de sus estudiantes.

Me despido de usted deseándole éxitos en sus labores.

Atentamente,

Ing. José Andrés González González
Gerente General
Cooperativa Hermandad Campesina, R.L
CACHERCAM R.L

DE LA POLICIA NACIONAL 1C. AL ESTE TEL.: 2778-0027 E-MAIL: CACHERCAM@HOTMAIL.COM RIO BLANCO, PAIWAS

Anexo 6. Ficha de recolección de datos.

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS EXPERIMENTALES

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

Investigador(es): Katherine Castellón, Anelvis López Hanzell Valenzuela.

Fecha de realización: Septiembre-noviembre 2023

Objetivo: Evaluar la producción de biogás de la pulpa de cacao mediante la digestión anaerobia no controlada en la cooperativa CAC-HERMAN. R. L, en el cerro MUSUN de Rio Blanco, departamento de Matagalpa

Hipótesis: En el proceso biológico anaeróbico no controlado, la producción de biogás mediante la pulpa de cacao como materia orgánica biodegradable tendrá una la relación de causalidad significativa en cuanto a la producción de biogás y generará buenos rendimientos siempre y cuando los parámetros físicos (temperatura) y químicos (pH, C, N) se encuentren en sus rangos óptimos.

Producción de biogás (pulpa de cacao y agua)

		Tiempo de retención (días)	biogás producido (ml)	Temperatura	pH
	Biodigestor 1	30	280	28	3,2
Primera fase	Biodigestor 2	30	265	30	3,3
	Biodigestor 3	30	210	30	3,7

Producción de biogás (pulpa de cacao y agua)

		Tiempo de retención (días)	biogás producido (ml)	Temperatura	pH
	Biodigestor 1	30	653	30	3,5
Segunda fase	Biodigestor 2	30	265	28	3,7
	Biodigestor 3	30	234	29	3,2

Producción de biogás (pulpa de cacao y estiércol bovino)

		Tiempo de retención (días)	biogás producido (ml)	Temperatura	pH
	Biodigestor 1	30	1030	30	6,2
Tercera fase	Biodigestor 2	30	990	30	6,1
	Biodigestor 3	30	950	30	6,1