

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA
ELECTRICA**

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE GAS INDUSTRIAL
A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO, PULPA Y MUCILAGO DE CAFÈ EN
EL CASERÍO LA PALMA, TABACONAS, CAJAMARCA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA**

Autores : Bach. Alberca Garcia Dilmer
Bach. Velasco Cruz Franklin

Asesor : Dr. Edwin Lenin Carlos Felix Poicon

Línea de investigación : Energías Alternativas

JAÉN – PERÚ, MARZO 2025

Dilmer Alberca García; Franklin Velasco Cruz

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE GAS INDUSTRIAL A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO, PULPA Y ...

- Quick Submit
- Quick Submit
- Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::1:3208157956

52 Páginas

Fecha de entrega
7 abr 2025, 10:04 a.m. GMT-5

13.013 Palabras

Fecha de descarga
7 abr 2025, 10:06 a.m. GMT-5

68.616 Caracteres

Nombre de archivo
KLIN-ALBERCA_GARCIA_DILMER-_INFORME_-_FRANKLIN_VELASCO_CRUZ.pdf

Tamaño de archivo
826.1 KB

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN

Dr. Alexander Huanán Meru
Médico de Investigación de la Facultad de Ingeniería

10% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Small Matches (less than 15 words)

Top Sources

- 9% Internet sources
- 1% Publications
- 3% Submitted works (Student Papers)

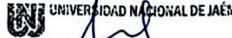
Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.



Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

Top Sources

- 9% Internet sources
- 1% Publications
- 3% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	hdl.handle.net	2%
2	Internet	repositorio.unj.edu.pe	2%
3	Internet	renati.sunedu.gob.pe	<1%
4	Internet	infocarbono.minam.gob.pe	<1%
5	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
6	Student papers	Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD	<1%
7	Internet	www.nrel.gov	<1%
8	Student papers	Account Universidad Mariana	<1%
9	Internet	portal.amelica.org	<1%
10	Internet	www.ketraco.co.ke	<1%
11	Student papers	Universidad Adolfo Ibáñez	<1%

12	Student papers	University of New South Wales	<1%
13	Internet	assets.kpmg	<1%
14	Internet	ejournal.unsri.ac.id	<1%
15	Internet	fulfillmenthubusa.com	<1%
16	Student papers	Central Queensland University	<1%
17	Student papers	Swinburne University of Technology	<1%
18	Student papers	Universidad Internacional Isabel I de Castilla	<1%
19	Internet	m.repositorio.unj.edu.pe	<1%
20	Internet	pubs.acs.org	<1%
21	Internet	repositorio.unprg.edu.pe:8080	<1%
22	Internet	www.coursehero.com	<1%
23	Student papers	Universidad Cesar Vallejo	<1%
24	Internet	www.diw.de	<1%
25	Student papers	Universidad Nacional del Centro del Peru	<1%

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día martes 18 de marzo del 2025, siendo las 17:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. José Gerardo Saavedra Carrasco
Secretario : Mg. Walter Linder Cabrera Torres
Vocal : Mg. Marco Luis Pérez Silva

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE GAS INDUSTRIAL A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO, PULPA Y MUCILAGO DE CAFÉ EN EL CASERÍO LA PALMA, TABACONAS, CAJAMARCA".

Presentado por los bachilleres: Franklin Velasco Cruz y Dilmer Alberca Garcia, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar () Desaprobar () Unanimidad (X) Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (17) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 18:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.


Dr. José Gerardo Saavedra Carrasco
Presidente Jurado Evaluador


Mg. Walter Linder Cabrera Torres
Secretario Jurado Evaluador


Mg. Marco Luis Pérez Silva
Vocal Jurado Evaluador

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Franklin Velasco Cruz, con DNI, N° 72127466, egresado de la facultad de ingeniería mecánica eléctrica y Dilmer Alberca García, con DNI, N° 74737394, egresado de la facultad de ingeniería mecánica eléctrica, declaro bajo juramento que somos autores del trabajo de investigación titulado: **“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE GAS INDUSTRIAL A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO, PULPA Y MUCILAGO DE CAFÉ EN EL CASERÍO LA PALMA, TABACONAS, CAJAMARCA.”** Cuya autoría es el resultado de nuestro esfuerzo, sacrificio y dedicación. El mismo que fue revisado por mi asesor, **DR. EDWIN LENIN CARLOS FÉLIX POICON**, quien dio la conformidad considerando matriz de desarrollo que exige la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica.

Dejo constancia que en el supuesto que incurra en el incumplimiento de la originalidad de trabajo de investigación, o en el caso de incurrir en el plagio parcial o total del mismo soy consciente en los efectos que produzcan dicho incumplimiento.

Me ratifico en lo expresado y en señal de conformidad firmo la presente declaración jurada en la provincia de jaén, a los 14 días del mes de marzo del 2025. En forma conjunta con mi asesor.



Bach. Franklin Velasco Cruz

DNI: 72127466



Bach. Dilmer Alberca García

DNI:72127466



Dr. Edwin Lenin Carlos Félix Poicon

DNI: 21870431

ÍNDICE

CARÁTULA	I
ÍNDICE	II
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIAL Y MÉTODOS	8
2.1. Ubicación geográfica	8
2.2. Tipo y diseño de la investigación.....	8
2.3. Técnicas de recolección de datos.....	8
2.4. Procedimiento	9
Análisis de datos	10
III. RESULTADOS	11
3.1. Definir los parámetros de diseño del sistema de biodigestor.....	11
3.2. Determinar las especificaciones de los componentes del sistema de biodigestor.....	14
3.3. Establecer el diseño del sistema de biodigestor para la producción de gas industrial...	31
IV. DISCUSIÓN	35
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	38
AGRADECIMIENTO	42
DEDICATORIA.....	43
ANEXOS	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de pulpa de café producido en el 2024.....	12
Tabla 2. Cantidad de estiércol del ganado en el 2024	13

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de producción de biogas a partir de pulpa de café.....	14
Figura 2. Desulfurizador de biogás	19
Figura 3. Bolsa de almacenamiento de biogas	20
Figura 4. Generador electrico	23
Figura 5. Diseño de biodigestor.....	44
Figura 6. Zanja del biodigestor.....	44
Figura 7. Tanque de entrada	45
Figura 8. Tanque de salida.....	45
Figura 9. Tanque del biodigestor.....	46

RESUMEN

La falta de acceso a alternativas energéticas limpias y renovables contribuye a la degradación ambiental y a la inestabilidad económica de la comunidad. El estiércol de ganado y otros residuos orgánicos, como la pulpa y el mucílago de café, son elementos importantes que tienen el potencial de transformarse en una fuente de energía limpia y renovable a través del proceso de biodigestión. Sin embargo, la falta de un sistema adecuado para gestionar estos residuos puede llevar a su acumulación y contaminación ambiental. En la necesidad de la población del caserío de la palma al notar el precio elevado del gas para cocinar fue que se tuvo como propósito diseñar un biodigestor para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado, mucilago y pulpa de café, dimensionando un biodigestor tipo Taiwán con un volumen de 15 m³, produciéndose 7.426 m³ de biogás/día, con un tanque de entrada de 80 x80x 40 cm y un tanque de salida con un volumen de 2.065m³. Las medidas del gasómetro D1 =2.5 m, D2, 2m, altura =0.99, con un volumen de 5.19 m³, utilizando una dosis diaria de 378.55 kg de pulpa de café. Concluyendo que el desarrollo del diseño del biodigestor fue funcional para la obtención de biogás.

Palabras clave: Biodigestor, biogas de pulpa de café, biogás

ABSTRACT

The lack of access to clean and renewable energy alternatives contributes to environmental degradation and economic instability in the community. Livestock manure and other organic waste, such as coffee pulp and mucilage, are important elements that have the potential to be transformed into a clean and renewable energy source through the bio digestion process. However, the lack of an adequate system to manage these wastes can lead to their accumulation and environmental contamination. In the need of the population of the hamlet of La Palma, noticing the high price of cooking gas, it was decided design a biodigester for the production of biogas from livestock manure, mucilage and coffee pulp, sizing a Taiwan-type biodigester with a volume of 15 m³, producing 7,426 m³ of biogas/day, with an inlet tank of 80 x 80 x 40 cm and an outlet tank with a volume of 2,065 m³. The measurements of the gasometer D1 = 2.5 m, D2, 2 m, height = 0.99, with a volume of 5.19 m³, using a daily dose of 378.55 kg of coffee pulp. Concluding that the development of the biodigester design was functional for obtaining biogas.

Keywords: biodigester, coffee pulp biogas, biogas

I. INTRODUCCIÓN

La crisis energética es un problema apremiante del mundo y cada nación debe abordarla utilizando de manera sostenible los recursos naturales locales disponibles. En el mundo, alrededor de 2.400 millones de personas utilizan fuegos abiertos y prácticas culinarias ineficientes, lo que genera una contaminación del aire en los hogares nociva para la salud. Esto provocará alrededor de 3,2 millones de muertes en 2020 debido a enfermedades causadas por combustibles para cocinar ineficientes, como el carbón, el queroseno y la biomasa (OMS [Organización Mundial de la Salud], 2022). En particular, las mujeres y los niños responsables de las tareas del hogar sufren diversos problemas de salud debido a la exposición a la contaminación del aire (Vikesh y Madhusmita, 2022; AIE [International Energy Agency], 2019). Con la recuperación de la economía mundial ante la crisis de COVID-19, en 2021, las emisiones globales de CO₂ vinculadas al consumo de energía aumentaron un 6%, alcanzando un total de 36,3 mil millones de toneladas., debido al uso del carbón, llegando a su nivel más alto de la historia. Por lo tanto, para compensar estos problemas y alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), los recursos de energía renovable pueden convertirse en una opción viable y respetuosa con el medio ambiente en el futuro previsible (Mayank y Sheilza, 2023), de ellos destacamos energía obtenida a partir de biomasa de los sectores económicos, tales como el sector agricultura y ganadería.

La ganadería es un sector global importante que contribuye significativamente a la economía de un país. Se prevé que la demanda mundial de productos ganaderos se duplicará de aquí a 2050, debido principalmente al desarrollo del nivel de vida mundial. Esto significa que el 14,5% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) tienen su origen en la industria ganadera, lo que provoca más cambio climático. Por lo tanto, la ganadería será un factor clave para mejorar la seguridad alimentaria mundial y mitigar las emisiones de GEI mediante la producción de ganado climáticamente inteligente (Mozammel, et al. 2022)

El sector agrícola ocupa el segundo lugar entre los mayores emisores de gases de efecto invernadero a nivel mundial, siendo responsable del 13,5% de las emisiones totales de GEI. La caficultura genera al alrededor de 15-20, millones de toneladas de subproductos de la cadena productiva del café, lo cual los subproductos son utilizados de manera inadecuada (Rodrigues et al., 2023). Estos provienen de la separación del grano de la fruta lo cuales son la pulpa, cáscara, pergamino y aguas residuales (De Melo Pereira et al., 2020). Pero la pulpa y el mucilago del café son los residuos que generan mayor

contaminación ambiental, por su alto contenido de agua y azúcares lo que genera olores desagradables y lixiviados contaminados (Jiménez-Zamora et al., 2015). La pulpa de café es uno de los desechos más importantes de la industria del café. Representa aproximadamente el 29% del peso seco de la cereza, lo que significa que, por cada 2 Tn de café, se genera una Tn de pulpa de café (Torres-Valenzuela, et al., 2020).

Perú cuenta con vastas áreas de tierra destinadas a la actividad agropecuaria. La ganadería es una actividad clave para la seguridad alimentaria del país. De acuerdo con el diagnóstico del Plan Ganadero 2017-2027, este sector representa alrededor del 40% del valor bruto de la producción agropecuaria y es la principal fuente de sustento para 1.8 millones de familias que integra un aproximado 7.6 millones de familias, lo que representa el 25% de la población peruana (MIDAGRI 2017). Este sector produce 16,086.68 emisiones de GEI [GgCO₂eq]. En contraste, una parte significativa de la agricultura en Perú ha satisfecho las necesidades de los mercados internacionales. Este fenómeno se ha manifestado en el aumento de las exportaciones de cacao, café, uvas, espárragos, uvas, paltas y mangos en los últimos diez años. Lo cual en el 2019 el cultivo de café fue mayor cultivado con un 13,89 % siendo los departamentos de San Martín, Junín, Amazonas, Cajamarca y Cusco los que concentraron las mayores áreas. Este sector de agricultura produce 28,478 Emisiones de GEI [GgCO₂eq] (MINAGRI [Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego], 2023).

A nivel nacional según datos de la Encuesta Nacional de Hogares del primer trimestre del año 2022, en las zonas rurales solo el 61,5% usan gas para cocinar sus alimentos esto se debe a la escasez de acceso a combustibles de bajo costo y fácil disponibilidad en las zonas rurales por lo que no pueden mejorar sus condiciones económicas, lo cual el 38.5% utiliza carbón y leña para cocinar sus alimentos ocasionando graves problemas al medio ambiente y la salud humana (INEI [Instituto Nacional de Estadística e Informática], 2022).

El caserío La Palma enfrenta una dependencia significativa de fuentes de energía convencionales como leña, gasolina o electricidad, lo que puede resultar costoso y poco sostenible a largo plazo. La falta de acceso a alternativas energéticas limpias y renovables contribuye a la degradación ambiental y a la inestabilidad económica de la comunidad. El estiércol de ganado y otros residuos orgánicos, como la pulpa y el mucílago de café, son recursos valiosos que pueden convertirse en una fuente de energía renovable a través del proceso de biodigestión. Sin embargo, la falta de un sistema adecuado para gestionar

estos residuos puede llevar a su acumulación y contaminación ambiental, afectando la salud pública y la calidad de vida de los pobladores del caserío.

Por todo lo mencionado anteriormente, el presente proyecto busca solucionar la problemática ambiental, ocasionada por estiércol de ganado, pulpa y mucílago de café, mediante la valoración económica de estos residuos orgánicos. En este sentido, se requiere aprovechar los componentes del estiércol de ganado, pulpa y mucílago de café, para la producir biogás. De esta forma, se puede minimizar el posible impacto ambiental que ocasionan. Además, el proyecto presenta una solución a la problemática que enfrenta muchas zonas rurales del Perú respecto al acceso de biogás de bajo costo y de fácil acceso.

En ese contexto, surge la siguiente pregunta: ¿Cómo aprovechar los desechos orgánicos generados del cultivo de café y del ganado vacuno a través del uso de biodigestores para mejorar la calidad de vida y reducir la contaminación en el caserío la Palma, Tabaconas-Cajamarca?

Este estudio tiene una justificación Desde el punto de vista social, el uso de gas industrial a partir de biomasa para cocinar, en lugar de la leña, mejorará la salud de la población, ya que reduce la emisión de gases tóxicos y partículas perjudiciales que genera la leña. Este combustible produce una llama limpia y azul (López y Sola, 2008). Por lo que permitirá reducir los problemas respiratorios como el asma, tos, bronquitis o el cáncer, además con la cascará y mucilago de café que produce el caserío abastecerá de gas para todas las familias.

En el aspecto económico, este proyecto brindará un ahorro de combustible para cocinar, ya que el biogás al reemplazará al cilindro de gas propano, generando el ahorro mensual para cada familia. En el aspecto ambiental, el uso de biodigestores evitará la emisión de gases nocivos y la conservación del medio ambiente. ya que mediante la digestión controlada de residuos orgánicos para usar el biogás en sustitución de leña.

En el aspecto científico: Aumentará los conocimientos teóricos de estudiantes y tesisistas en el desarrollo de investigaciones de energías renovables. Por otra parte, este proyecto se justifica también metodológicamente, ya que se desarrollará una metodología detallada permitiendo obtener conocimiento válido o confiable referente al diseño de biogás a partir de estiércol, pulpa y mucílago de café para un caserío y esto permitirá que también sea aplicable en otras localidades. Según Obaideen et al. (2022), el biogás garantiza una disminución de los contaminantes del agua y aire, la protección de la vegetación y las fuentes de energía respetuosas con el medio ambiente. Asimismo, se reducirá la deforestación ya que el biogás reemplazará al uso de la leña en gran cantidad,

por lo que evitaría la tala de bosques. La deforestación es responsable de un 18% de las emisiones de CO₂ del mundo (López y Sola, 2008). Además, si se disminuye la tala de árboles se contribuirá a frenar la erosión del suelo y ayudan a mantener la fertilidad del suelo.

En cuanto a los antecedentes internacionales, Bettero et al. (2023) dimensionaron un biodigestor de flujo continuo sistema diseñado para producir biogás de manera continua a partir de residuos sólidos del restaurante universitario de la UFES en Brasil. Para lo cual recolectaron y caracterizaron los residuos, determinaron la carga diaria de biomasa (% humedad y contenido de sólidos volátiles) y a partir de ello realizaron la dimensión e implementación del biodigestor tipo canadiense. Dimensionaron un biodigestor con un volumen de 1685,7 litros, para las dimensiones de las cajas de entrada y salida de la cámara de digestión, consideraron el 20% del volumen de carga diaria resultando 67, 43 litros, por lo que la caja de entrada (de forma cúbica) tuvo 40,7 cm de lado; para la bandeja de salida consideraron tres veces el volumen de bandeja de entrada siendo 202,29 litros, debe tener 58,7 cm de lado. Las dimensiones del gasómetro fueron un radio de 45,43 m y el área de lienzo de 110.21 m², además consideraron como inoculante a estiércol de ganado utilizando una dosis diaria de 2, 8 kg por 20 kg de sólidos totales diarios.

Ochoa (2023) realizó un diseño y emplazamiento de un biodigestor tubular sistema utilizado para generar biogás a partir del estiércol bovino, y cobayo en una planta de lácteos en Ecuador. Utilizó una relación de 1:3 y 1:9 de estiércol-agua. Para lo cual determinaron la carga diaria, calcularon el volumen y el tamaño del biodigestor. Dimensionó el biodigestor de 2 m de radio y 9 m de longitud, con una zanja de 9.15 m de largo, 2.10 de ancho y una cuña de 60°.

Lozano et al. (2020) diseñaron un biodigestor usando estiércol de gallinas para generar biogás vía simulación con el software SIMBA para una granja de gallinas en Colombia. Para ello realizaron una caracterización del estiércol de gallinas y cerdos, así como el diseño y simulación del prototipo. Se consideró la opción de utilizar un biodigestor tubular tipo Plug Flow, que opera con un 75% de volumen en fase líquida y un 25% en fase gaseosa. Este sistema tiene un volumen de digestión de 3.12 m³ y se propuso emplear polietileno tubular calibre 8, con una protección contra rayos UV para la membrana. El biodigestor tiene un perímetro de 2.5 m, lo que equivale a un diámetro de 0.79 m, y 8.4 m de longitud (considerando 1 m a cada lado para la conexión a la tubería) con una capacidad de producción hasta 10 m³ de gas industrial por mes.

Quintero y Santos (2020) realizaron un biodigestor para producir gas usando pulpa de café y residuos orgánicos; para el diseño se tuvo en cuenta el sustrato y para la construcción optaron por biodigestor de bajo costo para la implementación utilizando tres proporciones de sustratos: 20 kg, 10 kg y 20 kg de pulpa de café. Se dimensionó un biodigestor con doble capa de plástico calibre 8, con un volumen de 1,90 m³, una longitud de 2,00 m y un diámetro de 1,27 m. Este biodigestor tiene una carga de 16 kg de estiércol fresco y dos cargas de 20 kg de sustrato para producir 1260 litros de gas industrial por día.

Niño et al. (2021) en su estudio dimensionaron un biodigestor de tipo continuo anaeróbico para producir biogás usando residuos orgánicos para la empresa Ecosangil S.A.S. en Colombia. Para lo cual realizaron al inicio una revisión bibliográfica luego la caracterización de los residuos, asimismo diseñaron el biodigestor y al final el dimensionamiento usando el programa CAD SolidWorks. Obtuvieron 4460,68 To/mes de residuos orgánicos al año 2029, obteniendo 3897288,3 m³/mes de biogás, dimensionaron 4 tanques cilíndricos de fondo cónico, con un volumen teórico real de 4511 m³ en el Dranco, y de 29793 m³ en los cuatro tanques esféricos de almacenamiento de biogás comprimido a 10 bares.

Pinargote y Vergara (2019) diseñaron un biodigestor para la obtención de gas aprovechando las aguas residuales generadas durante el proceso de café, en su metodología usó el experimento batch y realizó combinaciones en relación de temperatura, DQO/N/P, alcalinidad y F/M, asimismo realizaron el dimensionamiento y evaluación de rentabilidad económica. Obtuvieron una degradación de 66 % de DQO del agua de café y 0.574 m³ biogás/Kg DQO utilizada, en cuanto a las medidas dimensionaron un biodigestor cilíndrico de 15 m de alto y de diámetro 5 m, un TRH de 30 H, considerando 200 m³ de caudal y 5000 mg DQO/L, con una inversión de 113 765.06 soles.

En cuanto a los antecedentes nacionales, Lozano y Gonzales (2023) propusieron un sistema para generar energía eléctrica a partir de biogás utilizando estiércol de cerdo en una granja de Jaén. Para ello, recolectaron y analizaron información sobre la cantidad de estiércol producido, seleccionaron e instalaron el biodigestor. Seleccionaron un biodigestor tipo laguna produciendo 18.92 m³ de CH₄ diario, diseñado con un volumen de 234.39 m³ con un generador de 3 kW de potencia, que durante 12.55 horas produce 37.64 kWh. Además, en la evaluación económica, se obtuvo un VAN de 35,790.11 y un TIR del 36%.

Arana (2021), diseñó un biodigestor automatizado para generar biogás a partir de residuos orgánicos, destinado a un caserío en Huancayo.. Para ello se calculó la cantidad de biomasa diaria, volumen de biodigestor y de biogas y el tiempo de retención y luego se dimensionó los tanques que conforman el biodigestor tipo chino, finalmente se programó el PLC para la automatización. Obtuvo que con el biodigestor diseñado generará 8.81 m³ de biogás al día, y en 30 días de TRD obtendrán 264.3 m³ equivalente energético a 11 balones de 10 kg de GLP, asimismo para la automatización consideró usar un PLC tipo compacto de marca SIEMENS modelo “6ED1052-1MD08-0BA0”.

Mantilla (2020), diseñó un biodigestor piloto de operación semicontinua para la producción de biogás usando efluentes de una empresa de lácteos en Cajamarca. Para la cual realizó una evaluación de efluentes, calculó el volumen del biodigestor y diseñó el biodigestor teniendo en cuenta variables tales como T°, Oxígeno, TR y PH. Obtuvo que para 60000 litros de suero se requiere un biodigestor con 233.24 m³ de capacidad, incluyendo el contenedor de biogás de 58.31 m³, el pH óptimo esta entre 6,6 a 7,6; el biodigestor lo componen 4 Válvula roscable de bola de acero inoxidable, 2 niples de ¾, 2 uniones de ¼, 2 acoples macho de 1/4 x 38mm y 3 codos de ¼, 1 termómetro (0-100 °C), 1 manómetro(0-15psi), caudalímetro de 130mm, entre otros componentes.

Collasos y Vargas (2019) diseñaron un sistema de biodigestor para generar energía eléctrica a partir de residuos orgánicos en el camal municipal de la provincia de Jaén. Para ello determinaron la cantidad de residuos, cálculo de la demanda eléctrica, dimensionamiento del biodigestor, selección del generador eléctrico y evaluación económica. Dimensionaron un sistema de biodigestores de 3 reactores tipo tubular, con un volumen de 52 m³, el generador seleccionado fue de 5 kW, además en la evaluación económica obtuvo un VAN de S/. 244674.3, TIR de 47%, y un TDR de 3 años.

Broncano-Guevara (2019), diseñaron un biodigestor para producir biogás y bioabonos usando pulpa de café, estiércol de ganado, y agua miel. Se utilizaron sustratos en proporciones: estiercol-agua 1.4; 3 % p/v (pulpa de café- estiércol) y 8 % volumen/volumen (agua miel- volumen de carga). Construyeron un biodigestor de manga de polietileno de 5,67 m³, con 4,25 m³ de volumen de trabajo, asimismo determinaron el TRH que fue de 25 días a 20,2 °C de temperatura y que producción 3 55° L de biogás, así mismo se obtuvo bioabono.

La hipótesis planteada: Con el uso de biodigestores se aprovechará los desechos orgánicos generados del cultivo de café y del ganado vacuno para producir biogás que permitirá mejorar la calidad de vida y se reducir la contaminación en el caserío La Palma, Tabaconas, Cajamarca.

Asimismo, el objetivo general es: Diseñar un biodigestor para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado, pulpa y mucílago de café. Los objetivos específicos: (1) Definir los parámetros de diseño del sistema de biodigestor, (2) determinar las especificaciones de los componentes del sistema de biodigestor, (3) establecer el diseño del sistema de biodigestor para la producción de gas industrial.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación geográfica

Este estudio se desarrolló en el caserío de la Palma, distrito Tabaconas departamento Cajamarca, tiene una población de 300 habitantes según el registro de empadronamiento de hogares del C.P Churuyacu, a una altitud de 1700 m.s.n.m. y su temperatura oscila de 20-30 °C.

2.2. Tipo y diseño de la investigación

Este estudio fue de tipo aplicada, ya que se centró en utilizar conocimientos sobre control y producción de biocombustibles, con el fin de ofrecer una solución a la problemática del alto costo del gas.

En cuanto a su naturaleza, fue de nivel cuantitativo, ya que se siguió un proceso secuencial para responder a la hipótesis planteada. La investigación cuantitativa se enfoca en recolectar datos para probar hipótesis mediante mediciones numéricas y su análisis (Bautista et al., 2014).

Este estudio fue no experimental, pues solo se llevó a cabo el diseño y el cálculo de las medidas sin manipular ninguna variable. Según Bautista et al. (2014), no se realiza una manipulación deliberada de ninguna variable, y los fenómenos se estudian en su entorno natural para analizarlos.

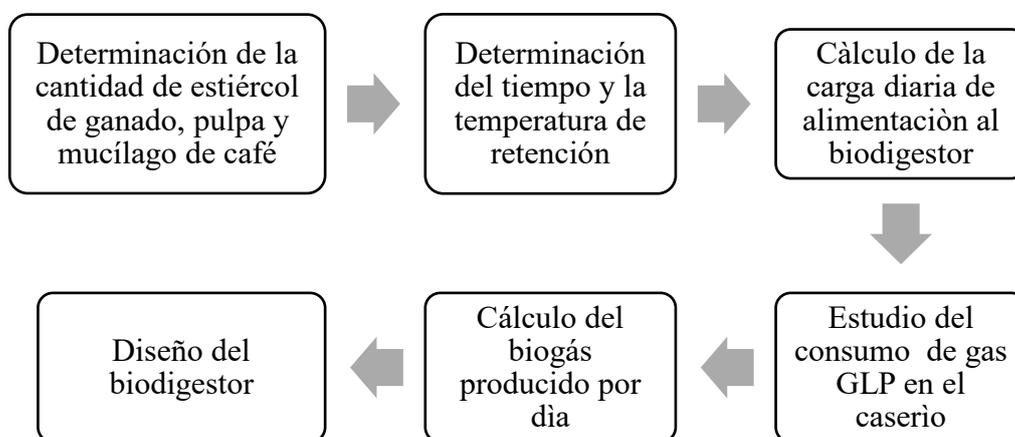
2.3. Técnicas de recolección de datos

a) Análisis de documentos: Se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda de artículos y sus respectivas referencias en bases de datos científicas como Scielo, Science Direct, y PubMed, además de consultar tesis de pregrado y posgrado y libros. Esta información fue clave para realizar los cálculos necesarios para el diseño del biodigestor.

b) Observación directa: se visitó el lugar para recolectar datos que nos ayudarán a dimensionar el proyecto y determinar el tipo de biodigestor a desarrollar.

c) Entrevista: Se realizará a toda la población del caserío La Palma para determinar la cantidad total de estiércol de ganado, pulpa y mucílago de café, así como también conocer el consumo de gas (GLP) de cada familia.

2.4. Procedimiento



A continuación, se describe el procedimiento:

- 1. Determinación de la cantidad de estiércol de ganado, pulpa y mucílago de café**
Se realizó una encuesta y de acuerdo a la cantidad de ganado y la producción café se determinará la cantidad de estiércol, pulpa y mucílago de café disponible para la producción de biogás.
- 2. Determinación de la temperatura y tiempo de retención**
La temperatura tiene un impacto en los procesos anaeróbicos. La temperatura afecta la tasa de crecimiento de los microorganismos involucrados en la biodigestión, lo que a su vez afecta la rapidez con la que avanzan los procesos biológicos. (Varnero, 2011)

Para determinar estos parámetros se tendrá en cuenta la temperatura promedio del lugar en ejecución.
- 3. Cálculo de la carga diaria del biodigestor**
En esta investigación se considera la mezcla de materia orgánica (estiércol de ganado, pulpa y mucílago de café). Según Olano (2018) el mejor tratamiento

para la producción de biogás será usando 40 % de pulpa de café, 40% estiércol de ganado vacuno y 20% de agua miel.

4. Cálculo del biogás producido por día

La cantidad de biogás depende de la composición de la materia prima. Dado que cada uno de estos tiene un potencial diferente para producir biogás o metano (Arrieta, 2016). Para poder estimar la producción de biogás se tomó datos mínimos según la las investigaciones realizadas con las materias estiércol de ganado, pulpa y mucílago de café.

5. Estudio del consumo de gas en el caserío La Palma

Se llevó a cabo encuestas y entrevistas a todos los pobladores del caserío para recopilar información sobre sus hábitos de consumo de Gas GLP y las actividades para las que utilizan esta energía.

6. Diseño del biodigestor

Para el desarrollo del diseño se inició determinándose el volumen, luego el dimensionamiento y la selección de materiales y accesorios básicos para la construcción del biodigestor. Asimismo, el diseño se realizó usando el Programa CAD/CAE y el software de manufactura en 2D/3D, además se utilizo el programa INVENTOR para diseñar el biodigestor.

Análisis de datos

Los datos se procesaron utilizando el Programa CAD/CAE, Hoja de cálculo, procesador de textos y software de manufactura en 2D/3D. además se utilizó el programa INVENTOR para diseñar el biodigestor.

III. RESULTADOS

3.1. Definir los parámetros de diseño del sistema de biodigestor.

3.1.1. Determinación de tiempo base

La determinación del tiempo base para el cálculo de la producción diaria de café es fundamental porque permite establecer una referencia clara y realista para medir la eficiencia en las labores productivas. Al fijar un tiempo base, se puede identificar cuánto se tarda en realizar cada tarea de manera estándar, lo que facilita la organización y supervisión de la producción. Además, esta medición ayuda a prever la cantidad de café que se puede procesar en un día, optimizando los recursos y mejorando la gestión del tiempo. De esta manera, se logra un balance entre la cantidad y la calidad del producto, y se puede ajustar el ritmo de trabajo para cumplir con las metas de producción de manera más eficiente.

En el Caserío La Palma, Tabaconas, Cajamarca se trabaja 8 horas al día teniendo 45 minutos de descanso para el almuerzo, información que ayudó a determinar el tiempo base:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo base}(Tb) &= 7,25h * 60min = \frac{435min}{\text{día}} \\ \text{Tiempo base}(Tb) &= 435 \frac{min}{\text{día}} \end{aligned}$$

3.1.2. Determinación de producción

El cálculo de la producción diaria de café es esencial porque permite tener una visión clara de cuánto se está produciendo cada día, para facilitar la planificación y tomar decisiones. Saber la cantidad exacta de café que se puede cosechar o procesar diariamente ayuda a gestionar mejor los recursos, como los equipos y la mano de obra, y a evitar cuellos de botella o sobrecargas de trabajo. Además, permite ajustar las expectativas y las estrategias de venta o distribución, asegurando que se cumplan las metas de lo que se necesita producir sin comprometer al producto y su calidad. En resumen, tener un cálculo preciso de la producción diaria es clave para optimizar el proceso y garantizar una operación más eficiente y rentable.

En el Caserío La Palma, Tabaconas, Cajamarca el tiempo para despulpar un quintal de café es de 96.36 min/quintal, con este dato se procede a calcular la producción:

$$Produccion = \left(435 \frac{min}{diario}\right) / \left(96,36 \frac{min}{quintal}\right)$$

$$Produccion = 4.51 \frac{quintal}{dia}$$

3.1.3. Determinación de cantidad de pulpa de café

Tabla 1. Cantidad de pulpa de café producido en el 2024

Lugar	Tipo de café		
	Café Pergamino	Café Cerezo	Pulpa de café
Caserío La Palma	531 qq	141,246 Kg	59,323.32 Kg

Fuente: propia

3.1.4. Determinación de cantidad de estiércol de ganado

Para calcular la cantidad de excreta producida por las reses en el fundo, se llevó a cabo un seguimiento durante un periodo de 30 días, registrando el peso total de la excreta generada. En este caso, el fundo contaba con un total de 3 reses, por lo que, con base en este número de animales, se realizó un muestreo representativo para obtener datos precisos sobre la producción de excreta de todo el ganado. Este enfoque permitió estimar de manera confiable la cantidad de excreta producida en el fundo durante el período de observación.

Tabla 2. Cantidad de estiércol del ganado en el 2024

Día	Peso (Kg)	Día	Peso (Kg)
1	22	16	17
2	20	17	15
3	19	18	18
4	18	19	19
5	22	20	20
6	17	21	21
7	15	22	19
8	19	23	18
9	21	24	17
10	21	25	20
11	20	26	18
12	22	27	19
13	21	28	20
14	19	29	21
15	18	30	17

Fuente: propia

Durante el tiempo de muestreo, se determinó que la producción diaria promedio de excreta fue de 19.10 kg. Esto significa que, en promedio, cada una de las 3 reses generaba aproximadamente 6.37 kg de excreta al día. Este dato proporciona una perspectiva más precisa sobre la cantidad de excreta producida por cada animal, lo que permite tener una mejor referencia para gestionar las prácticas de manejo y fertilización en el fundo, así como para calcular el impacto ambiental y el uso de estos desechos en otras actividades agrícolas. Al ser las excretas del ganado muy baja e insuficiente para el diseño del biodigestor se considerará solamente la pulpa de café.

3.2. Determinar las especificaciones de los componentes del sistema de biodigestor.

3.2.1. Proceso de producción de biogas considerando la pulpa de café

Figura 1. Proceso de producción de biogas considerando pulpa de café



La producción de biogás considerando la pulpa de café es un proceso que involucra varias etapas, cada una esencial para garantizar que el residuo orgánico se convierta de manera eficiente en energía renovable. El proceso completo, paso a paso, es como sigue:

1. Despulpado

El primer paso es el despulpado, donde se extrae la pulpa de café de los granos recién cosechados. Este proceso se realiza mediante máquinas despulpadoras, que separan la pulpa del respectivo grano de café. La pulpa generada en esta etapa es un residuo orgánico rico en azúcares, lo cual la convierte en un excelente material para la producción de biogás. A través de la fermentación, estos azúcares se transformarán en gases como metano, los cuales son aprovechables como fuente de energía. La cosecha de café comienza en abril, pero los residuos generados comenzarán a producir biogás recién en mayo, aproximadamente un mes después de haber iniciado el proceso de fermentación (Martínez y Pérez, 2019).

Las máquinas despulpadoras de café utilizadas son equipos esenciales para separar la pulpa del grano de café después de la cosecha. Estas máquinas están diseñadas para

facilitar y agilizar el proceso de despulpado, que de otro modo sería muy laborioso si se hiciera manualmente. En términos generales, una máquina despulpadora tiene varias características clave que optimizan su funcionamiento y eficiencia:

1. Capacidad de procesamiento: Estas máquinas pueden procesar grandes cantidades de café en un corto período de tiempo, lo cual es fundamental en las zonas productoras de café de Perú, donde las cosechas suelen ser voluminosas. Esto permite a los productores trabajar de manera más rápida y eficiente, ahorrando tiempo y esfuerzo en la etapa de post-cosecha.
2. Sistema de separación de pulpa y grano: El funcionamiento de una despulpadora se basa en un sistema que utiliza un par de rodillos o discos que, mediante fricción, extraen la pulpa del grano de café. El grano es luego clasificado y separado de la pulpa en diferentes compartimentos. Este proceso es muy importante porque una pulpa mal separada podría afectar la calidad del café al contaminar los granos con residuos de pulpa.
3. Ajustes de velocidad y presión: La mayoría de las despulpadoras permiten ajustar la velocidad y la presión de los rodillos según las necesidades del productor y el tipo de café. Esto es crucial porque, dependiendo de la variedad de café o del estado de madurez de los granos, es necesario aplicar diferentes niveles de presión para evitar dañar el grano mientras se retira la pulpa.
4. Diseño robusto y adaptado al clima: Las máquinas despulpadoras usadas en Perú suelen ser de diseño robusto, fabricadas con materiales resistentes que soportan las condiciones climáticas del país, como la humedad y las altas temperaturas de las zonas cafetaleras. Además, muchas de ellas están adaptadas a las características de los cafetales peruanos, que a menudo se encuentran en terrenos montañosos o de difícil acceso.
5. Eficiencia en el uso de agua: Algunas despulpadoras modernas están diseñadas para optimizar el uso del agua, un recurso valioso en la producción de café, especialmente en las regiones más secas de Perú. Estas máquinas permiten

recircular el agua utilizada durante el proceso de despulpado, reduciendo así el consumo y la contaminación del agua.

6. Fácil mantenimiento y durabilidad: Las despulpadoras de café en Perú están construidas para durar y soportar el uso intensivo en el campo. Además, se diseñan de manera que el mantenimiento sea relativamente sencillo, lo que es importante para los productores que no siempre tienen acceso a técnicos especializados.

Las máquinas despulpadoras de café son herramientas clave en la industria cafetera peruana, ya que permiten mejorar la eficiencia, reducir costos y garantizar una mejor calidad del grano. Gracias a su diseño funcional, adaptabilidad y facilidad de mantenimiento, estos equipos son una parte importante del proceso de producción en muchas fincas de café en todo el país.

2. Almacenamiento de residuos

Con la obtención de la pulpa de café, el siguiente paso es su almacenamiento. La pulpa debe ser almacenada adecuadamente para evitar su descomposición prematura o la proliferación de microorganismos indeseados. Se utiliza un sistema de almacenamiento que permite preservar la pulpa hasta que esté lista para ser procesada en el biodigestor. En esta fase, es importante que los residuos se mantengan en condiciones controladas, ya que la calidad del material influye directamente en la eficiencia del biogás que se produce.

El almacenamiento es un proceso clave para asegurar que este residuo orgánico se mantenga en condiciones adecuadas antes de ser procesado o reutilizado. La pulpa, que es el material sobrante después de despulpar los granos, debe ser almacenada correctamente para evitar su descomposición prematura o la proliferación de microorganismos indeseados, lo que podría comprometer su calidad.

Para almacenarla, normalmente se utilizan espacios secos y bien ventilados, ya que la humedad excesiva puede acelerar la descomposición y generar malos olores o fermentaciones no controladas. En muchas fincas de café, la pulpa se coloca en montones o se almacena en contenedores o sacos que permiten la circulación de aire, lo cual es esencial para evitar la acumulación de humedad.

En algunos casos, los productores de café optan por utilizar sistemas más sofisticados, como silos o grandes tanques herméticos, que ayudan a controlar las condiciones de temperatura y humedad. Además, algunos métodos de almacenamiento

incluyen la recirculación del agua utilizada en el proceso de despulpado, lo que no solo optimiza el uso de recursos, sino que también ayuda a reducir el impacto ambiental.

El objetivo principal del almacenamiento es que la pulpa no se degrade antes de ser utilizada, ya sea para alimentar un biodigestor y producir biogás, o para otros procesos de compostaje o fertilización. Por eso, el almacenamiento adecuado de la pulpa de café contribuye a aprovechar mejor este residuo, mejorando la sostenibilidad y eficiencia de la producción cafetera (Martínez y Pérez, 2019).

En cuanto al depósito, su capacidad máxima se estableció considerando la cantidad más alta de residuos generados, la cual se presenta durante julio.

Tabla 3. Capacidad total máxima del reservorio.

Generación por día pulpa de café mes de Julio 2023	Densidad	Capacidad del reservorio
1,083 Kg	0.4425 Kg/l	(1,083Kg) (1 l/0.4425Kg) (1m ³ /1000 l) = 2.45m ³

Fuente: (Martínez y Pérez, 2019).

3. Fermentación

La siguiente etapa es la fermentación. En este proceso, los microorganismos anaeróbicos descomponen la materia orgánica de la pulpa en un ambiente sin oxígeno. Durante la fermentación, los azúcares de la pulpa son convertidos en biogás, principalmente metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). Este proceso puede extenderse desde unas pocas semanas hasta varios meses, dependiendo de las condiciones del biodigestor (temperatura, pH, etc.). Es esencial controlar cuidadosamente las condiciones del biodigestor para maximizar la producción de metano, que es el principal componente utilizado como fuente de energía. La fermentación anaeróbica del agua junto con la pulpa de café es un proceso que ocurre de forma natural en el que microorganismos descomponen los compuestos orgánicos de la pulpa considerando la falta de oxígeno. Esto se realiza en un ambiente cerrado, como un biodigestor o un tanque hermético, donde la pulpa de café se mezcla con agua para crear una especie de "sopa" rica en azúcares. Estos azúcares son descompuestos por bacterias y otros microorganismos anaeróbicos, que no necesitan oxígeno para realizar su trabajo. Durante la fermentación, los

microorganismos convierten estos azúcares principalmente en gases como el metano, que se puede utilizar como biogás, y otros subproductos como el dióxido de carbono.

El tiempo de fermentación depende de condiciones del proceso, como la temperatura y la cantidad de pulpa, pero generalmente, este proceso dura entre 15 a 30 días. La duración de la fermentación es clave para asegurar que los microorganismos tengan tiempo suficiente para descomponer completamente la materia orgánica, sin que se produzcan malos olores o la degradación del material. Si la fermentación se detiene antes de tiempo, la producción de biogás puede ser insuficiente, y si se extiende demasiado, los subproductos generados pueden empezar a ser menos útiles.

La fermentación anaerobia, cuando se realiza correctamente, es un método eficiente para transformar un residuo en una fuente de energía limpia, y el tiempo de fermentación debe ser cuidadosamente controlado para optimizar los resultados (Martínez y Pérez, 2019).

En el proceso de fermentación anaerobia, el agua mezclado con la pulpa de café se descompone durante aproximadamente 38 días, tiempo necesario para generar biogás. Más adelante se explicará cómo se llega a este periodo de 38 días, así como el cálculo del tamaño y la capacidad del biodigestor requerido para el proceso. Durante la fermentación, el biogás producido puede contener algunos gases no deseados, por lo que es necesario utilizar un sistema de purificación, como un limpiador de biogás o desulfurizador, para eliminar estos compuestos, como se detallará en el siguiente apartado.

4. Desulfurizador de biogás

Una vez que se ha producido el biogás en el biodigestor, este pasa por un proceso de desulfurización. Este biogás puede contener sulfuro de hidrógeno (H_2S), que son corrosivos y dañinos para los equipos y motores que usan el biogás. Por lo tanto, se emplea un desulfurizador para eliminar estos compuestos y purificar el biogás. Este proceso puede involucrar métodos químicos o biológicos que transforman el sulfuro de hidrógeno en formas menos dañinas, como el azufre elemental o compuestos solubles.

El desulfurizador de biogás es un equipo diseñado para eliminar compuestos de azufre, especialmente el sulfuro de hidrógeno (H_2S), que pueden estar presentes en el biogás producido durante la fermentación de la pulpa de café u otros residuos orgánicos. Este proceso es crucial porque el sulfuro de hidrógeno es un gas corrosivo y tóxico que, si no se elimina, puede dañar los equipos que utilizan el biogás, como motores o generadores, y también puede generar malos olores.

Las principales características de un desulfurizador de biogás incluyen su capacidad para purificar el biogás de manera eficiente, utilizando métodos como la absorción química o biológica. Algunos desulfurizadores utilizan materiales como carbón activado o soluciones químicas para capturar y transformar el sulfuro de hidrógeno en formas menos dañinas, como azufre sólido o compuestos solubles. Otros sistemas aprovechan bacterias que, en un ambiente controlado, convierten el sulfuro de hidrógeno en azufre elemental, lo cual es un proceso más natural y ambientalmente amigable. Además, estos equipos suelen estar diseñados para ser de fácil mantenimiento y operación, lo que es esencial en entornos rurales o en instalaciones que no cuentan con personal altamente especializado. El tamaño y la capacidad del desulfurizador dependerán de la cantidad de biogás que se produzca, asegurando que todo el gas generado pase por el sistema de purificación antes de ser utilizado para generar energía.

El desulfurizador es un componente clave para garantizar que el biogás esté libre de impurezas que puedan afectar su calidad y el buen funcionamiento de los equipos, contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia del proceso para producir energía considerando residuos orgánicos como la pulpa de café. (Martínez y Pérez, 2019).

Figura 2. *Desulfurizador de biogás*



5. Almacenamiento del biogás

En esta parte, el biogás purificado es luego almacenado en tanques adecuados, donde se puede conservar hasta ser utilizado. El almacenamiento permite acumular el biogás producido en períodos de alta producción, para su uso posterior en momentos de mayor requerimiento. Los sistemas de almacenamiento de biogás suelen ser herméticos para evitar fugas y pérdidas de gas, y están diseñados para mantener la presión necesaria para su transporte y uso eficiente. Los depósitos fabricados con membranas de PVC de 1 mm de grosor son estructuras diseñadas para almacenar biogás de manera eficiente y segura. Estos depósitos están hechos de un material flexible y resistente, como el PVC,

que permite que el tanque se ajuste a los cambios de presión y volumen del biogás almacenado. La membrana de material PVC, con un grosor de 1 mm, proporciona la robustez necesaria para soportar las condiciones del biogás, sin perder la flexibilidad que permite que el gas se acumule y se libere de manera controlada.

Este tipo de depósitos tiene la ventaja de ser liviano, fácil de instalar y más económico que otros sistemas de almacenamiento más rígidos, como los tanques metálicos. Además, la membrana de PVC es resistente a los factores ambientales como la humedad o la corrosión, lo que la hace ideal para su uso en entornos exteriores o rurales, donde suelen instalarse estos sistemas. La estructura de la membrana se mantiene hermética, lo que ayuda a evitar fugas de gas y garantiza que el biogás se conserve en condiciones óptimas para su posterior uso en la generación de energía. Los depósitos de membrana de PVC son una solución práctica y económica para almacenar biogás, ofreciendo la flexibilidad y seguridad necesarias para gestionar este recurso renovable de manera eficiente (Martínez y Pérez, 2019).

Figura 3. *Bolsa de almacenamiento de biogas*



6. Generación de energía

Finalmente, el biogás almacenado se emplea para la producción de energía. El biogás se puede emplear en motores de combustión interna, turbinas o sistemas de generación de electricidad. Al quemar el metano contenido en el biogás, se produce energía que puede ser utilizada para abastecer las necesidades eléctricas de la finca, de la planta de procesamiento de café o incluso ser vendida a la red eléctrica, generando así ingresos adicionales para el productor de café. Además, el uso de biogás como fuente de energía reduce la dependencia de combustibles fósiles y disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la sostenibilidad del proceso productivo.

En el mercado hay una variedad de modelos de generadores eléctricos diseñados para aprovechar el biogás como insumo de energía que se use en la generación de electricidad. Estos generadores se diferencian principalmente por el tipo de motor que utilizan y su capacidad para adaptarse a las características del biogás. Uno de los modelos más comunes son los generadores de gas de combustión interna, que funcionan de manera similar a los motores de automóviles. Estos motores queman el biogás, principalmente metano, para generar energía mecánica, que luego se convierte en electricidad a través de un alternador. Estos generadores son adecuados para instalaciones pequeñas a medianas y son populares en áreas rurales o en proyectos de energías renovables a pequeña escala.

Otra opción son los generadores de turbina de gas, que utilizan el biogás para accionar una turbina. Estos generadores son más eficientes en aplicaciones de mayor escala y pueden producir grandes cantidades de electricidad. Las turbinas de gas son capaces de operar de manera continua, lo que las hace ideales para plantas de biogás más grandes, como las que se utilizan en procesos industriales o en granjas de energía renovable.

También existen generadores de ciclo combinado, que combinan una turbina de gas y un generador de vapor. Este sistema usa el calor residual de la turbina de gas con el fin de generar vapor que impulsa una segunda turbina, aumentando la eficiencia del proceso y produciendo más electricidad con el mismo recurso de biogás.

En cuanto a los modelos, hay generadores específicos diseñados para el biogás, que cuentan con sistemas adaptados para lidiar con la variabilidad del gas, como el sistema de control de mezcla de gas y aire, para asegurar una combustión óptima. Además, algunos generadores están equipados con filtros y sistemas de desulfurización, que eliminan el sulfuro de hidrógeno y otros compuestos corrosivos del biogás antes de ser quemado, protegiendo así el equipo y mejorando su vida útil. (Martínez y Pérez, 2019).

Un ejemplo de generador que se utiliza para convertir biogás en electricidad son los grupos electrógenos. Estos dispositivos funcionan mediante un motor de combustión interna, que impulsa un generador eléctrico. Así, el biogás se quema en el motor, produciendo energía mecánica que luego se convierte en electricidad, permitiendo así aprovechar este recurso renovable para generar energía.

Tabla 4. *Datos técnicos de generadores eléctricos más comerciales*

Características	Marca		
	Generac	Vielco	Generac
Tipo	Guardian Series™ 5518	GG8B&S	POWERPACT
Combustible	Gas natural		
Frecuencia	60 Hz	50 Hz	50 Hz
Potencia máxima nominal	7 kW	6.5 kW	5.6 kW

Fuente: (Martínez y Pérez, 2019).

Luego de evaluar los tres generadores, optamos por el tipo Generac, 8kw considerando varias razones. En primer lugar, está disponible en el mercado local, lo cual facilita su adquisición. Además, la frecuencia en el Perú es de 60 Hz por lo que este modelo se ajusta a este requerimiento. Además, se presenta como una opción económica, con un precio asequible en el mercado. Cabe destacar que, en un proyecto similar en Honduras, realizado por una asociación de productores de café, se utilizó un generador de la marca Generac (ver Figura 4). Este antecedente de éxito en un contexto similar refuerza la elección del equipo, ya que demuestra su efectividad y confiabilidad. Por lo tanto, basándose en esta experiencia, se decidió elegir este generador para el Caserío La Palma, Tabaconas, Cajamarca.

Figura 4. *Generador eléctrico*



3.1.5. Selección del biodigestor

Tomando en consideración lo presentado en la Tabla 4, seleccionar adecuadamente el biodigestor es fundamental para garantizar que el sistema diseñado funcione de manera eficiente y rentable. Un biodigestor bien elegido no solo maximiza la cantidad de biogás generado, sino que también asegura que el proceso sea sostenible a largo plazo. Esto implica tener en cuenta factores como la cantidad de residuos disponibles, las condiciones del terreno, el tamaño de la operación y los recursos disponibles. Una selección adecuada permite optimizar el uso de los residuos orgánicos, minimizar costos operativos y evitar problemas como la acumulación de residuos o la baja producción de biogás. Además, un biodigestor adecuado contribuye a mejorar la calidad del biogás y reduce el impacto ambiental, lo que hace que todo el sistema sea más eficiente y beneficioso tanto para los productores como para el medio ambiente.

Tabla 4. Cuadro comparativo de biodigestores según criterios de selección

Criterio	Tipo		
	Chino	Hindú	Taiwán
Costo de instalación	Alto	Alto	Bajo
Tecnología disponible en el mercado	Antigua	Antigua	Actual
Simplicidad en el mantenimiento	Baja	Alta	Baja
Durabilidad	20 años	15 años	10 - 15 años
Efecto ecológico	Positivo		
Rendimiento	-	-	Buena
Materiales empleados	Ferrocemento; ladrillos; cemento	Cemento; ladrillos; ferrocemento; acero anticorrosivo	Geomembrana de PVC
Clase de sistema	Semi – Continuo		

Fuente: propia

3.2.2. Criterios de evaluación

A continuación, se analizan los criterios más importantes a considerar al seleccionar un biodigestor, cada uno de los cuales juega un papel clave en garantizar que el sistema funcione de manera eficiente, sostenible y rentable:

3.2.2.1. Costo de instalación

Uno de los factores más decisivos al elegir un biodigestor es el costo de su instalación. Esto incluye el precio del equipo, los materiales necesarios, así como los gastos asociados con la construcción y la puesta en marcha. Es esencial evaluar si el costo de instalación se ajusta al presupuesto disponible y si la inversión inicial es razonable en función de los beneficios a largo plazo. Un biodigestor de bajo costo de instalación puede ser atractivo, pero si su eficiencia o durabilidad es limitada, podría generar costos adicionales a lo largo del tiempo.

Los expertos y personas familiarizadas coinciden al referir que el modelo de Taiwán resultar ser el más económico en términos de costos de instalación. Esto se debe a la disponibilidad local de los materiales, que facilita su acceso en el lugar donde se planea instalar. Además, su bajo costo se ve complementado por el hecho de que no requiere mano de obra especializada para su montaje. Otro aspecto positivo es que hay compañías que venden biodigestores que son prefabricados, lo que simplifica aún más el proceso de adquisición e instalación. Por esta razón, se asignaron las siguientes puntuaciones para evaluar los costos de instalación a los tipos hindú, chino, y Taiwán: 5, 6, y 8, respectivamente.

3.2.2.2. Tecnología disponible en el mercado

La tecnología utilizada en el biodigestor es otro criterio clave. Existen diferentes tipos de biodigestores con tecnologías variadas, que van desde sistemas tradicionales hasta modelos más avanzados y automatizados. La disponibilidad de tecnología adecuada puede influir en la eficiencia de la conversión de residuos en biogás y en la facilidad de operación del sistema. Es importante elegir un biodigestor que incorpore tecnología moderna que sea compatible con el tipo de residuo (como la pulpa de café) y que permita un control adecuado del proceso.

El modelo de biodigestor más utilizado en la actualidad es el de tipo Taiwán (también conocido como tubular o "salchicha"). Esto se debe a su popularidad, lo que ha generado un mayor interés en mejorar este diseño con dispositivos más modernos. Como

resultado, este tipo de biodigestor tiene una ventaja considerable sobre los modelos más tradicionales, como los de tipo chino e hindú.

3.2.2.3. Simplicidad en el mantenimiento

El mantenimiento del biodigestor debe ser sencillo y poco costoso. Si el sistema es complejo o requiere de un mantenimiento constante y especializado, esto puede generar gastos adicionales y dificultades operativas. Un biodigestor con un diseño simple, accesible y que requiera poco mantenimiento, será mucho más adecuado para quienes no tienen personal técnico especializado o para quienes buscan una operación más autónoma y rentable a largo plazo.

El biodigestor tipo Taiwán requiere un mantenimiento relativamente bajo, considerando que se hayan tomado las medidas de protección necesarias para la bolsa de PVC, como un techo protector o cercos perimetrales. Para el tipo chino, en cuanto al mantenimiento también es mínimo, ya que no tiene partes susceptibles a la oxidación. Por otro lado, el biodigestor tipo hindú necesita un mantenimiento más intensivo, especialmente en la cúpula flotante, que requiere la eliminación periódica de óxido y un recubrimiento con productos anticorrosivos. En resumen, tanto el modelo Taiwán como el chino ofrecen ventajas significativas en términos de mantenimiento en comparación con el modelo hindú.

3.2.2.4. Durabilidad

La vida útil de un biodigestor es un factor determinante en su rentabilidad. Un sistema de larga duración asegura que la inversión inicial se recupere con el tiempo, mientras que un biodigestor de corta vida útil podría requerir reemplazos frecuentes, lo que incrementaría los costos operativos. Es recomendable optar por un biodigestor de buena calidad, fabricado con materiales resistentes y que esté diseñado para funcionar durante muchos años con el menor desgaste posible. La duración aproximada para el tipo hindú, chino, y Taiwán es 15, 20, y 15 años.

3.2.2.5. Efecto ecológico

El efecto ecológico de un biodigestor es un aspecto fundamental, especialmente en proyectos que buscan ser sostenibles. Los biodigestores deben ser diseñados para minimizar su huella ecológica, desde la producción del equipo hasta su operación. Esto

incluye aspectos como la reducción de emisiones contaminantes, la gestión eficiente de los residuos orgánicos y la producción de biogás limpio que sustituya combustibles fósiles. Además, un biodigestor bien diseñado puede contribuir a la mejora del suelo a través del uso de los subproductos, como el digestato, en la agricultura. En cuanto al impacto ambiental, el biodigestor tipo Taiwán muestra un desempeño superior en comparación con los modelos chino y el hindú, según los resultados de este estudio.

3.2.2.6. Rendimiento

Otro criterio importante es el rendimiento con el que el biodigestor convierte la pulpa en biogás. La pulpa de este producto es rico en azúcares, pero su eficiencia en la producción de biogás puede depender del tipo de biodigestor utilizado. Existen biodigestores que están especialmente diseñados para optimizar la producción de biogás considerando la pulpa de café. Es crucial seleccionar un sistema que garantice una alta eficiencia de conversión, asegurando así que el proceso sea rentable y sostenible.

En ese sentido para este estudio, el biodigestor Taiwán fue el más óptimo. Para este análisis se tuvo acceso los rangos en los que se produce biogás (en m³ de biogás por m³ de biodigestor) para modelos de India, China, y Taiwán son 0,4 a 0,6; 0,1 a 0,4; y 0,8 a 1. Esto significa que el biodigestor Taiwán es el que demuestra un mayor rendimiento en la generación de biogás.

3.2.2.7. Materiales empleados

El material con el que está construido el biodigestor influye en su durabilidad y resistencia. Los biodigestores pueden ser fabricados con diferentes materiales, como acero inoxidable, fibra de vidrio o plásticos reforzados. Cada material tiene sus propias ventajas y desventajas en cuanto a costo, resistencia a la corrosión, y capacidad para soportar las condiciones del entorno, como la humedad o las altas temperaturas. Un biodigestor hecho de materiales de alta calidad, resistentes y adecuados para el entorno específico de la finca o planta de procesamiento, ofrecerá mayor fiabilidad a largo plazo.

Los biodigestores de los tipos chino e hindú están contruidos principalmente con cemento, ladrillo o bloque, con algunas diferencias en sus componentes. El tipo chino utiliza varillas de hierro, mientras que el hindú tiene una cúpula flotante fabricada de acero anticorrosivo. Sin embargo, los materiales antes descritos son más costosos y difíciles de conseguir para el caserío La Palma, debido a su ubicación geográfica. Por otro lado, el biodigestor tipo Taiwán, que está hecho principalmente de PVC, es más accesible

y económico. Por estas razones, el modelo Taiwán tiene una mayor preferencia para el caserío La Palma.

3.2.2.8. Clase de sistema

Finalmente, la clase de sistema de biodigestor también es crucial. Existen biodigestores de diferentes configuraciones, como los sistemas continuos o por lotes, y la elección entre uno u otro dependerá del tipo y la cantidad de residuos disponibles, así como de los objetivos del proyecto. Los sistemas continuos permiten un flujo constante de biogás y son adecuados para grandes volúmenes de residuos, mientras que los sistemas por lotes son ideales para pequeñas o medianas escalas, permitiendo un control más preciso del proceso. La selección debe basarse en el total de pulpa de café que se va a procesar y la infraestructura disponible.

En el caserío La Palma, la cantidad de pulpa de café que se produce no es ni completamente continua ni completamente discontinua, lo que hace necesario un biodigestor semi-continuo. Los modelos de India, China, y Taiwán operan en régimen semi-continuo, lo que se ajusta a las necesidades de la asociación. Por esta razón, se les asigna la misma valoración en el proceso de selección del biodigestor más adecuado.

3.2.3. Matriz de enfrentamiento de criterios

La Matriz de Enfrentamiento de Criterios es una herramienta crucial para seleccionar el biodigestor más adecuado para la pulpa de café, ya que permite comparar y contrastar los diferentes aspectos y características de los modelos disponibles de manera clara y estructurada. Al utilizar esta matriz, se puede evaluar cómo cada biodigestor cumple con los criterios más importantes, como el costo, el rendimiento, el mantenimiento, el efecto ecológico y otros factores clave. Facilitando la decisión, ya que ofrece una perspectiva clara de las fortalezas de cada opción, lo que ayuda a seleccionar el modelo que mejor se ajuste al proyecto. Además, al organizar la información de esta manera, se reduce la subjetividad y se asegura que la elección esté basada en un análisis exhaustivo y bien fundamentado.

Tabla 5. *Matriz de enfrentamiento de criterios*

	Costo de instalación	Tecnología disponible en el mercado	Simplicidad en el mantenimiento	Durabilidad	Efecto ecológico	Rendimiento	Materiales empleados	Clase de sistema	Total	Ponderación %
Costo de instalación		1	1	1	1	0	1	0	5	14.30
Tecnología disponible en el mercado	0		1	1	1	0	1	0	4	11.42
Simplicidad en el mantenimiento	0	0		1	0	0	1	0	2	5.72
Durabilidad	1	0	1		1	0	1	0	4	11.42
Efecto ecológico	0	0	1	0		0	1	0	2	5.72
Rendimiento	1	1	1	1	1		1	1	7	20.00
Materiales empleados	1	1	1	0	1	0		0	4	11.42
Clase de sistema	1	1	1	1	1	1	1		7	20.00

Fuente: propia

3.2.4. Selección del biodigestor

Tabla 6. *Decisión del biodigestor a usar*

Criterios	Ponderación (%)	Procedencia del biodigestor					
		China		India		Taiwán	
Costo de instalación	14.30	6	0.8580	5	0.715	8	1.1440
Tecnología disponible en el mercado	11.42	6	0.6852	6	0.6852	8	0.9136
Simplicidad en el mantenimiento	5.72	7	0.4004	5	0.286	7	0.4004
Durabilidad	11.42	8	0.9136	7	0.7994	7	0.7994
Efecto ecológico	5.72	6	0.3432	6	0.3432	7	0.4004
Rendimiento	20.00	2	0.4000	2	0.4	8	1.6000
Materiales empleados	11.42	6	0.6852	5	0.571	8	0.9136
Clase de sistema	20.00	8	1.6000	8	1.6	8	1.6000
	100%		5.8856		5.3998		7.7714

Fuente: propia

En la Tabla 6, los criterios más relevantes son el rendimiento y el tipo de sistema, ambos factores tienen un 20%, le sigue el costo de instalación (14%), donde el biodigestor modelo Taiwán presenta una ventaja significativa, ya que estos modelos están disponibles en el mercado ya semielaborados, lo que facilita su adquisición. En cambio, los modelos chino e hindú, además de ser más antiguos, requieren una mayor cantidad de materiales, como cemento y ladrillos, para su construcción. Después de evaluar estos criterios, el modelo Taiwán se consideró la opción más adecuada.

3.3. Establecer el diseño del sistema de biodigestor para la producción de gas industrial

1) Dimensionamiento del biodigestor

a) Tiempo de retención

Ya que el proyecto de investigación e desarrollara en la región de Cajamarca que se encuentra a una altura de 2750 msnm y tiene unas temperaturas que en verano oscila entre 8 y 21 C°, y en invierno entre 5 y 19C°.

Región	Temperatura ambiente	Altura sobre el nivel del mar (m)	Tiempo de retención (días)
Altiplano	-12 a 20°C	2 900 – 4 500	75
Valle	5 a 30 °C	1 800 – 2 900	37
Trópico	13 a 38 °C	0 – 1 800	25

Según tabla se selecciona un tiempo de retención de 37 dias.

$$\text{TRH}=37 \text{ dias}$$

b) Dosis de sustrato diaria

Según la información conseguido se sabe que se produce al día un promedio de 768.46 Kg diarios. De los cuales se toman un mínimo de 3/5 partes del total como pulpa de café. Se sabe que el %ST es de 82.1%.

$$\text{Cant. pulpa de cafe} = 3/5 * \text{Cantidad de cafe}$$

$$\text{Cant. pulpa de cafe} = \frac{3}{5} * 768.46 = 461.08 \text{kg}$$

$$ST = \%ST * \text{Cantidad pulpa de cafe}$$

$$ST = 82.1\% * 461.08 = 378.55 \text{Kg}$$

Se requiere un %ST debe ser menor a 10%, por lo que se le debe agregar una cantidad de agua para su correcto proceso.

$$\text{Cant. Agua} = \left(\frac{\%ST}{\%ST_{req}} - 1 \right) * ST$$

$$\text{Cant. Agua} = \left(\frac{82.1}{10} - 1 \right) * 378.55$$

$$\text{Cant. Agua} = 2729.35 \text{kg}$$

Se tiene que la densidad de la pulpa de café es 442.5 kg/m³ y la densidad de aguas mieles es de 940.9Kg/m³

$$Dosis\ de\ ST = \frac{\frac{Cant.\ de\ pulpa\ de\ cafe}{Densidad\ de\ pulpa}}{\frac{Cantidad\ de\ agua}{Densidad\ de\ aguas\ mieles}} = \frac{\frac{378.55kg}{442.5kg/m^3}}{\frac{2729.35}{940.9kg/m^3}} = 0.295m^3/dia$$

c) Volumen para a la adquisición de líquidos

$$Vl = Dosis\ de\ ST * TRH$$

$$Vl = 0.295 * 37 = 10.915m^3$$

d) Volumen total del reactor

$$Vt = \frac{4}{3} * Vl$$

$$Vt = \frac{4}{3} * 10.915 = 14.55m^3 \cong 15m^3$$

e) Dimensionamiento de reactor

Se debe tener en cuenta las longitudes comerciales en el mercado, de lo que se tiene:

Ancho de rolo (m)	Perímetro de la circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Sección eficaz (m ²)
1.00	2.0	0.32	0.64	0.32
1.25	2.5	0.40	0.80	0.50
1.50	3.0	0.48	0.96	0.72
1.75	3.5	0.56	1.12	0.97
2.00	4.0	0.64	1.28	1.27

Se seleccionará un rolo de ancho de 2 metros. Por lo que tendremos:

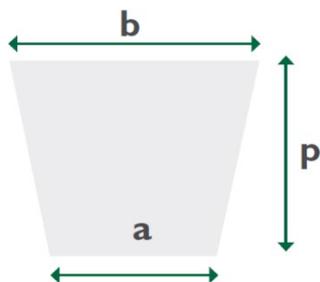
$$Lrollo = \frac{Vt}{\pi * r^2}$$

$$Lrollo = \frac{15}{1.27} = 11.81m$$

2) Zanja de biodigestor.

a) Dimensiones

Las dimensiones de la zanja dependerán del tanque biodigestor.



Medidas según el ancho del rollo

AR (m)	a (m)	b (m)	p (m)
1	0.3	0.5	0.6
1.25	0.4	0.6	0.7
1.5	0.5	0.7	0.8
1.75	0.6	0.8	0.9
2	0.7	0.9	1

Las medidas de la zanja serán base menor 0.7, base mayor 0.9 y altura 1mt.

b) TUBERIAS DE CAPTACION DE GAS

Se hará uso de PVC debido a sus costos y facilidad de instalación.

Tabla 24. Diámetros de tubería en relación de las distancias con la caída de presión

Caudal de biogas (m ³ /h)	Longitud de Tubería de PVC		
	20 m	60 m	100m
0,10	1/2"	1/2"	1/2"
0,20	1/2"	1/2"	1/2"
0,30	1/2"	1/2"	1/2"
0,40	1/2"	1/2"	1/2"
0,50	1/2"	1/2"	1/2"
1,00	1/2"	3/4"	3/4"
1,50	1/2"	3/4"	3/4"
2,00	3/4"	3/4"	3/4"

Se hará uso de 2 tuberías de 1/2 pulg ya que se estima un recorrido de 10 metros.

Además se hará uso de 4 codos de 1/2 pulg.ϕ

c) Depósitos de entrada y salida.

Los depósitos usaras conducciones de PVC de 4 pulg. El tanque de entrada será de 80x80 y 40cm de profundidad.

Para el depósito de salida se calculará.

$$V_{\text{pozo de salida}} = Dst * T$$

$$V_{\text{pozo de salida}} = 0.295 * 7 \text{ dias}$$

$$V_{\text{pozo de salida}} = 2.065 \text{m}^3 \cong 2065 \text{ litros.}$$

Lo que establecerá el pozo de salida en 2m*1m*1.033. Pero se le dará una altura extra para evitar desbordes.

d) Cantidad de biogás a producir

$$SV = ST * \%SV$$

$$SV = 378.55 * \%68.66$$

$$SV = 259.91 \text{KG solidos volatiles/dia}$$

➤ Producción de biogás

$$Pb = \frac{SV}{THR} * 1 \text{m}^3 \frac{\text{debiogas}}{\text{kg solidos volatiles}}$$

$$Pb = \frac{259.91}{35} * 1 \text{m}^3 \frac{\text{debiogas}}{\text{kg solidos volatiles}}$$

$$Pb = 7.426 \frac{\text{m}^3 \text{debiogas}}{\text{dia}}$$

e) Cálculo del gasómetro.

El gasómetro tiene forma ovoide por lo que su volumen será:

$$V = \frac{4}{3} \pi * \frac{D1}{2} * \frac{D2}{2} * \frac{H}{2}$$

El volumen del gasómetro debe ser entre 70% y 80% del volumen de producción. Esto para que por cuenta propia envíe el gas sin necesidad de elementos externos.

$$V_{\text{gasometro}} = 70\% * Pb$$

$$V_{\text{gasometro}} = 5.19 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Con la formula anteriormente mencionada tendremos que:

$$5.193 \text{m}^3 = \frac{4}{3} \pi * \frac{D1}{2} * \frac{D2}{2} * \frac{H}{2}$$

$$9.917 = D1 * D2 * H$$

Se le asigna valores comerciales.

$$D1=2.5\text{m}$$

$$D2=2\text{m}$$

$$\text{Altura}=0.99$$

IV. DISCUSIÓN

Se dimensionó un biodigestor tipo Taiwán con un volumen de 15 m^3 , produciéndose 7.426 m^3 de biogás/día, con un tanque de entrada de $80 \times 80 \times 40 \text{ cm}$ y un tanque de salida con un volumen de 2.065 m^3 . Las medidas del gasómetro $D1 = 2.5 \text{ m}$, $D2, 2 \text{ m}$, altura $= 0.99$, con un volumen de 5.19 m^3 , utilizando una dosis diaria de 378.55 kg de pulpa de café. Según Bettero et al. (2023), dimensionaron un biodigestor con un volumen de $1685,7$ litros, para las dimensiones de las cajas de entrada y salida de la cámara de digestión, consideraron el 20% del volumen de carga diaria resultando $67,43$ litros, por lo que la caja de entrada (de forma cúbica) tuvo $40,7 \text{ cm}$ de lado; para la bandeja de salida consideraron tres veces el volumen de bandeja de entrada siendo $202,29$ litros, debe tener $58,7 \text{ cm}$ de lado. Las dimensiones del gasómetro fueron un radio de $45,43 \text{ m}$ y el área de lienzo de 110.21 m^2 , además consideraron como inoculante a estiércol de ganado utilizando una dosis diaria de $2,8 \text{ kg}$ por 20 kg de sólidos totales diarios.

Los componentes que lo conforman al biodigestor son un generador eléctrico Generac Guardian Series™ 5518 - 8 kW Home Standby Generato, un desulfurizador. Según Mantilla (2020), diseñó un biodigestor piloto semicontinuo para la obtención de biogas compuesto por 4 Válvula roscable de bola de acero inoxidable, 2 niples de $\frac{3}{4}$, 2 uniones de $\frac{1}{4}$, 2 acoples macho de $\frac{1}{4} \times 38 \text{ mm}$ y 3 codos de $\frac{1}{4}$, 1 termómetro ($0-100 \text{ }^\circ\text{C}$), 1 manómetro ($0-15 \text{ psi}$), caudalímetro de 130 mm , entre otros componentes.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se dimensionó un biodigestor tipo Taiwán con un volumen de 15 m³, produciéndose 7.426 m³ de biogás/día, con un tanque de entrada de 80 x80x 40 cm y un tanque de salida con un volumen de 2.065m³. Las medidas del gasómetro D1 =2.5 m, D2, 2m, altura =0.99, con un volumen de 5.19 m³, utilizando una dosis diaria de 378.55 kg de pulpa de café.
- El biodigestor lo conforma un generador eléctrico Generac Guardian Series™ 5518 - 8 kW Home Standby Generato, un desulfurizador.

RECOMENDACIONES

- Realizar diseño a planta piloto lo cual será un beneficio para cooperativas u organizaciones agrícolas y agropecuarias.
- Realizar concientización a los agricultores de la valorización de los residuos

▪

VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- AIE [International Energy Agency]. (Noviembre de 2019). *World economic outlook*. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>
- Arana, F. (2021). *Diseño de un biodigestor automatizado para la producción automatizado para la producción de biogás usando desechos orgánicos para el distrito de Chacapampa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro de Salud]. Repositorio Institucional de la UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7125>
- Bautista, M., Hernandez, R., & Fernandez, C. (2014). *Metodología de la investigación*. INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Bettero, E., Francisco, N., & Vieira, F. (2023). Dimensionamiento de un biodigestor de flujo continuo a partir de la caracterización de los residuos sólidos del restaurante universitario de la Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, 9(2), 6811–6824. <https://doi.org/https://doi.org/10.34117/bjdv9n2-046>
- Broncano-Guevara, E. (2019). *Beneficios de la producción de biogás y bioabonos usando estiércol de ganado vacuno, pulpa de café y aguas mieles en el centro poblado de Aguas Verdes, Pardo Miguel Naranjos, Rioja, San Martín*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Roribio Rodríguez de Mendoza].Repositorio Institucional UNTRM. <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1923/Broncano%20Guevara%20Eber.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Collasos, D., & Vargas, L. (2019). *Diseño de un biodigestor para el aprovechamiento energetico de los residuos orgánicos del Camal Municipal de Jaèn-Perù*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaèn]. Repositorio Institucional UNJ. http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/209/1/Collasos_CD_Vargas_PLE.pdf
- De Melo Pereira, G., de Carvalho Neto, D., Magalhães Júnior, A., do Prado, F., Pagnoncelli, M., Karp, S., & Soccol, C. (2020). Chemical composition and health properties of coffee and coffee by-products. *Advances in Food and Nutrition Research*, 91, 65-79. <https://doi.org/doi:10.1016/bs.afnr.2019.10.002>

- INEI [Instituto Nacional de Estadística e Informática]. (17 de Agosto de 2022). *Informe Técnico de las Condiciones Técnicas en el Perú*. INEI. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/informe_de_condiciones_de_vida_ene-feb_mar2022.pdf
- Jiménez-Zamora, A., Silvia Pastoriza, J. A., & Rufián-Henares, J. (2015). Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. *Food Science and Technology*, 61, 12-18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.031>
- Lozano, A., Sánchez, C., & Ardila, J. (2020). Diseño de un biodigestor de excremento para generación de biogás vía simulación con el software SIMBA®. *Ingeniería y Región*, 24, 72-85. <https://doi.org/https://doi.org/10.25054/22161325.2779>
- Lozano, J., & Gonzales, D. (2023). *Propuesta de un generador de energía eléctrica con biogás producido por estiércol de cerdos en la granja don Victor, Jaén*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/611>
- Mantilla, M. (2020). *Diseño de un biodigestor piloto a partir de los efluentes de la empresa Gloria S.A. Cajamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/56717>
- Mayank, N., & Sheilza, J. (2023). Estimation of renewable biogas energy potential from livestock manure: A case study of India. *Bioresource Technology Reports*, 22, 101432. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101432>
- MINAGRI [Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego]. (2023). *Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del sector Agricultura del año 2019*. MINAGRI. https://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2023/05/Informe-RAGEI-Agricultura-2019_vf.pdf
- Mota de Mello, C. (2022). *Obtenção de Biogás a partir da Casca de Café com Pré-tratamento Fotocatalítico utilizando o Catalisador 10%CU/NB2O5*. [Trabajo de pregrado, Universidad Federal da Intedraçao Latino-Americano]. Repositorio Institucional Unila. Obtenido de <http://dspace.unila.edu.br/123456789/7035>

- Mozammel, A., Sukanta, M., & Satish, A. (2022). Chapter Eighteen - Way forward for sustainable livestock sector. (M. Sukanta, & L. Ram, Edits.) *Biological Tools and Techniques*, 473-488. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822265-2.00016-8>.
- Niño, Y., Pereira, J., & Jara, F. (2021). Diseño de un biodigestor en línea para el procesamiento de la fracción orgánica de RSU en la empresa Ecosangil. *Matices Tecnológicos*, 13, 6-11. <http://138.117.111.22/index.php/revistamaticestecnologicos/article/view/480>
- Obaideen, K., Abdelkareem, M., Wilberforce, T., Elsaid, K., Sayed, E., Maghrabie, E., & Olabi, E. (2022). Biogas role in achievement of the sustainable development goals: Evaluation, Challenges, and Guidelines. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 131, 104207. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876107022000062>)
- Ochoa, J. (2023). *Diseño y emplazamiento de un biodigestor tubular en la comunidad Zhuya-Cañar*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26284/1/UPS-CT010960.pdf>
- Olano Requelme, E. (2018). *Producció de biogàs a partir de aigües micles y pulpa de cafè(coffea arabica) en el districte de Copallin, Bagua-Amazonas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza]. Repositorio Institucional UNTRM. <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1637/Olano%20Requelme%20Edil.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- OMS [Organización Mundial de la Salud]. (01 de Enero de 2022). *La OMS publica nuevos datos globales sobre el uso de combustibles limpios y contaminantes para cocinar por tipo de combustible*. Obtenido de <https://www.who.int/news/item/20-01-2022-who-publishes-new-global-data-on-the-use-of-clean-and-polluting-fuels-for-cooking-by-fuel-type>
- Pinargote, S., & Vergara, G. (2019). *Diseño de un biodigestor anaeròbico para la generació de biogàs utilizando aigües residuales de la producció de cafè*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Archivo digital.
- Quintero, R., & Santos, D. (2022). *Evaluació de biogàs producido, en un digestor anaeròbico, a partir de pulpa de cafè y residuos domèsticos*. [Tesis de pregrado, Universidad Libre Seccional Socorro] Repositorio Institucional UNILIBRE. Archivo digital. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/19498/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Rodrigues, M., Jelley, R., Lajarim, R., Fedrizzi, B., Weber, C., & Funari, C. (2023). Green solvents for the selective extraction of bioactive compounds from by-products of the coffee production chain. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 86, 103365. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103365>
- Sencia Choquenaria, R. (2020). *Diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada por hogares de bajos recursos económicos que crían animales menores ubicados en la zona agrícola de la ciudad de Arequipa en el año 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental] Repositorio Institucional UC. Archivo digital. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8679/4/IV_FIN_108_TI_Sencia_Choquenaira_2020.pdf
- Silva, D., G., Oliveira, N., Rezende, L., Carneiro, J., & Otenio, M. (2021). Desplazamientos del grupo bacteriano acidogénico y producción de biogás mediante la adición de dos residuos industriales en codigestión anaeróbica con estiércol de ganado. *Ciencias Ambientales y Salud*, 56(14), 1503-1511. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10934529.2021.2015987>
- Torres-Valenzuela, L., Ballesteros-Gómez, A., & Rubio, S. (2020). Supramolecular solvent extraction of bioactives from coffee cherry pulp. *Journal of Food Engineering*, 278, 109933. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109933>
- Varnero, M. (2011). *Manual de Biogas*. FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Vikesh, S., & Madhusmita, D. (2022). Household energy use pattern in rural India: A path towards sustainable development. *Environmental Challenges*, 6, 100404. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100404>.

AGRADECIMIENTO

Al finalizar este trabajo de tesis, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a su desarrollo y culminación.

En primer lugar, agradezco a DIOS por darme la vida, salud, inteligencia para poder lograr culminar esta meta.

Agradezco al DR. Edwin Carlos Lenin Félix Poicon quien con su paciencia, conocimientos y valiosas observaciones me guió a lo largo de este proceso. Su orientación y compromiso fueron fundamentales para la calidad y el rigor académico de esta investigación.

Agradezco también a mis profesores de la Universidad Nacional de Jaén de la facultad en Ingeniería Mecánica Eléctrica, quienes, a lo largo de mi formación, me brindaron las herramientas necesarias para desarrollar este trabajo y fortalecer mi crecimiento profesional.

DEDICATORIA

A mis padres, por ser mi mayor fuente de inspiración, por su amor incondicional y por enseñarme que el esfuerzo y la perseverancia siempre dan frutos.

A mis profesores y mentores, cuyo conocimiento y guía fueron fundamentales en mi formación académica y profesional.

A mis amigos, por su apoyo inquebrantable, por compartir este viaje conmigo y por recordarme que siempre hay tiempo para una sonrisa en medio de los desafíos.

Y, finalmente, a mí mismo, por no rendirme, por creer en mis capacidades y por hacer de este sueño una realidad.

ANEXOS

Figura 5. *Diseño de biodigestor*

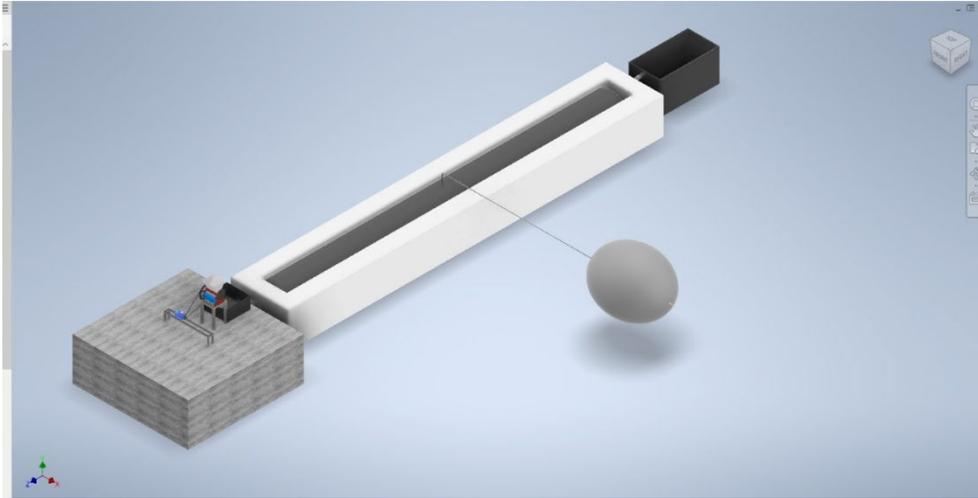


Figura 6. *Zanja del biodigestor*

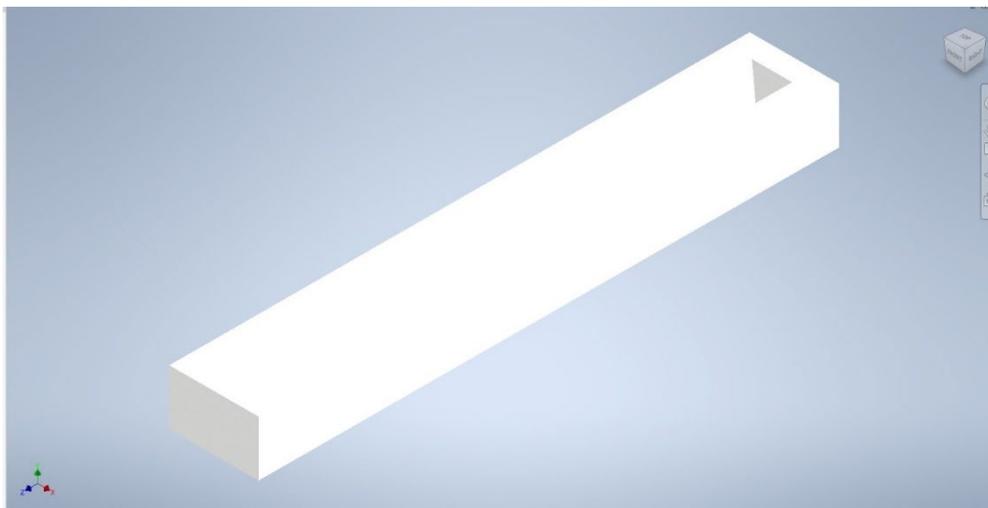


Figura 7. *Tanque de entrada*

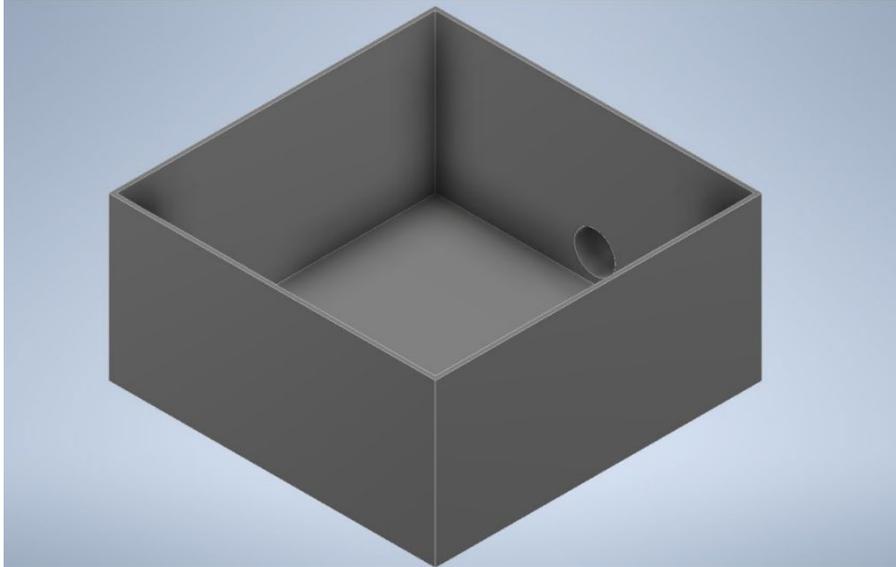


Figura 8. *Tanque de salida*

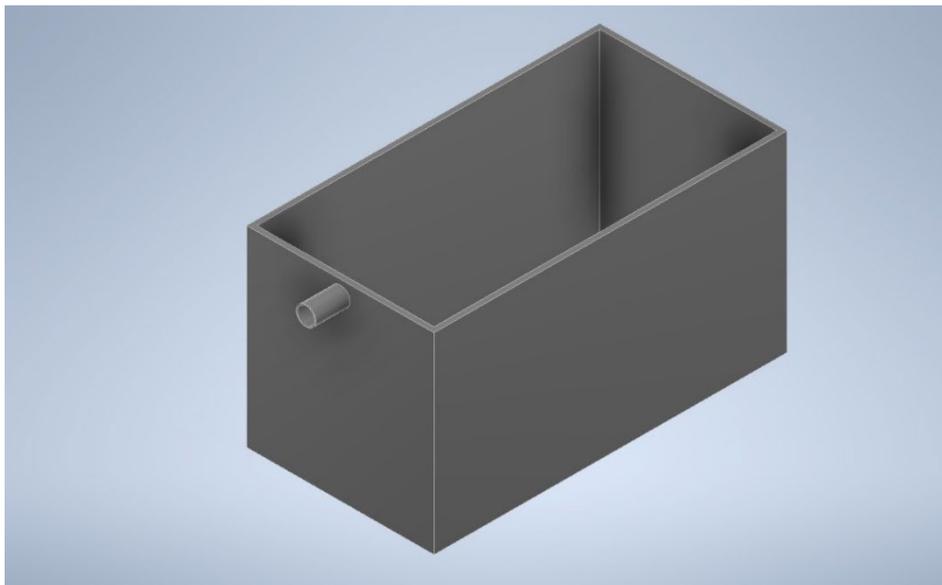


Figura 9. *Tanque del biodigestor*

