



**UPA** Universidad  
Politécnica Amazónica

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS**

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA GENERACIÓN DE  
ELECTRICIDAD A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO  
VACUNO EN EL CASERÍO EL PORVENIR, DISTRITO DE  
BAGUA GRANDE – AMAZONAS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA  
MECÁNICA**

**AUTOR:**

**Bach. Ruth Ysabel Gutierrez Ramos**

**ORCID: 0000-0002-0969-5430**

**ASESOR:**

**Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez**

**ORCID: 0000-0002-9018-9569**

**Registro: UPA-PITIM0004**

**Bagua Grande – Perú**

**2021**

## **Dedicatoria**

He logrado concluir con éxito mi tesis que lo dedico con todo mi corazón a mi familia porque muchos de mis logros se los debo a ellos que día a día me brindan su amor, su paciencia y ánimos para lograr cada cosa que me propongo.

Ruth Ysabel

## **Agradecimiento**

Agradezco a mi asesor Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez por la asesoría brindada que ha sido sumamente importante para el desarrollo de mi tesis. He sentido su apoyo de inicio a fin, especialmente en situaciones difíciles que se me presentaron; no fue sencillo culminar esta tesis, sin embargo siempre fue mi motivación para concluirla con éxito.

El autor

**Autoridades Universitarias**

**Rector** : Dr. José Manuel Cabanillas Soriano

**Vicerrector Académico** : Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán

**Coordinador de Escuela** : Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

### Visto bueno del asesor

Yo, Eduar Jamis Mejía Vásquez, identificado con DNI 40695828, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica, dejo constancia de haber asesorado al tesista Ruth Ysabel Gutiérrez Ramos, en su tesis titulada: **“Diseño de un biodigestor para generación de electricidad a partir de estiércol de ganado vacuno en el caserío El Porvenir, distrito de Bagua Grande - Amazonas”**. Asimismo dejo constancia que se ha levantado las observaciones señaladas en la revisión previa a esta presentación.

Por lo indicado, doy fe y visto bueno.

Bagua Grande, 20 de septiembre del 2021



---

Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

DNI 40695828

**“Diseño de un biodigestor para generación de electricidad a partir de estiércol de ganado vacuno en el caserío El Porvenir, distrito de Bagua Grande -Amazonas”**

---

**Bach. Ruth Ysabel Gutierrez Ramos**

Autor

---

**Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez**

Asesor

Presentada a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica para optar el título de Ingeniera Mecánica.

---

**Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán**

Presidente Jurado Evaluador

---

**MSc. Ing. Juan José Castañeda León**

Secretario Jurado Evaluador

---

**MSc. Ing. Nicky Armando Rodríguez de la Oliva**

Vocal Jurado Evaluador

### Declaración jurada de no plagio

Yo, Ruth Ysabel Gutiérrez Ramos, identificado con DNI 72020196, estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la Tesis titulada: **“Diseño de un biodigestor para generación de electricidad a partir de estiércol de ganado vacuno en el caserío El Porvenir, distrito de Bagua Grande -Amazonas”**.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra los derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.
6. Se ha respetado las consideraciones éticas en la investigación.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda la responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir todas las cargas pecuniarias que pudiera derivarse para la Universidad Politécnica Amazónica en favor de terceros por motivos de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del cumplimiento de lo declarado, y que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias o sanciones civiles y penales que de mi acción deriven.

Bagua Grande, 20 de septiembre del 2021



---

Bach. Ruth Ysabel Gutierrez Ramos

DNI 72020196

## Índice

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Autoridades Universitarias .....	iv
Visto bueno del asesor.....	v
Declaración jurada de no plagio.....	vii
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras .....	xii
Resumen .....	xiii
Abstract .....	xiv
<b>I. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Realidad problemática.....	1
1.2 Formulación del problema .....	2
1.3 Justificación de la investigación.....	2
1.3.1 Justificación Social .....	2
1.3.2 Justificación ambiental .....	3
1.3.3 Justificación económica.....	3
1.3.4 Justificación científica .....	3
1.4 Hipótesis.....	3
1.5 Objetivos .....	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos específicos .....	4
<b>II Marco teórico .....</b>	<b>5</b>
2.1 Antecedentes .....	5
2.1.1 A nivel internacional.....	5
2.1.2 A nivel nacional .....	6



2.1.3 A nivel regional o local.....	7
2.2 Bases teóricas .....	7
2.2.1 Biomasa .....	7
2.2.2 Biogás y la digestión anaeróbica .....	8
2.2.3 Biodigestores .....	9
2.2.4 Producción de energía eléctrica .....	12
2.2.5 Evaluación económica .....	13
2.3 Definición de términos .....	13
III Materiales y métodos .....	15
3.1 Diseño de la investigación.....	15
3.2 Población y muestra .....	15
3.3 Determinación de variables.....	15
3.4 Matriz de operacionalización de variables .....	15
3.5 Fuentes de información .....	16
3.6 Métodos.....	16
3.7 Técnicas e instrumentos .....	17
3.8 Procedimiento.....	17
3.9 Análisis de datos.....	19
3.10 Consideraciones éticas .....	19
IV Resultados.....	20
4.1 Resultados consumo eléctrico Institución Educativa 16599 El Porvenir.....	20
4.2 Resultados cantidad de estiércol de ganado vacuno, caserío El Porvenir .....	21
4.3 Resultados de dimensionamiento del biodigestor .....	23
4.3.1 Resultados cantidad biomasa disponible .....	23
4.3.2 Resultados de volumen de biomasa disponible .....	23
4.3.3 Resultados de volumen de biomasa en el digestor.....	24
4.3.4 Resultados de volumen de biogás .....	26

4.3.5 Resultados volumen total del biodigestor .....	27
4.3.6 Resultados dimensiones y material del biodigestor .....	27
4.3.7 Resultados dimensiones de la zanja del biodigestor .....	29
4.3.8 Resultados conversión electromecánica y generación de electricidad ...	31
4.3.9 Topología del sistema a biogás para generación de electricidad .....	34
4.4 Resultados de evaluación económica de proyecto .....	35
4.4.1 Inversión del sistema a biogás para generación de electricidad .....	35
4.4.2 Evaluación respecto a un grupo electrógeno a gasolina.....	37
V Discusión.....	41
Conclusiones .....	43
Recomendaciones .....	44
Referencias bibliográficas.....	45

## Índice de tablas

Tabla 1 Diversos componentes del biogás generado a partir del proceso de digestión anaeróbica .....	9
Tabla 2 Operacionalización de variables .....	16
Tabla 3 Resultados de demanda de energía eléctrica diaria de la Institución Educativa El Porvenir .....	20
Tabla 4 Cantidades que genera un animal al día de biogás, y relación de excreta agua . .....	21
Tabla 5 Resultados de cálculos de cantidad de excreta total diaria. ....	22
Tabla 6 Tiempo de retención según temperatura .....	25
Tabla 7 Temperatura en la zona del proyecto, año 2019 .....	25
Tabla 8 Parámetros según ancho de rollo disponible en el mercado .....	28
Tabla 9 Resultados de cálculo longitud de biodigestor, y relación óptima entre longitud y diámetro .....	29
Tabla 10 Dimensiones de la zanja trapezoidal según el ancho de rollo.....	30
Tabla 11 Resultados de cálculo del volumen de biogás necesario para la demanda eléctrica.....	32
Tabla 12 Resultados de dimensionamiento del sistema de generación eléctrica.....	34
Tabla 13 Presupuesto sistema a biogás para generación de electricidad .....	36
Tabla 14 Costos anuales de mantenimiento y operación, sistema a biogás para generación de electricidad.....	36
Tabla 15 Presupuesto sistema grupo electrógeno a gasolina .....	37
Tabla 16 Precios estaciones de servicio de Bagua Grande, septiembre 2021 .....	38
Tabla 17 Costos calculados de energía grupo electrógeno a gasolina, septiembre 2021 .....	38
Tabla 18 Costos de mantenimiento y operación del grupo electrógeno a gasolina ....	39
Tabla 19 Resultados de evaluación económica con respecto a un sistema con grupo electrógeno a gasolina.....	40

## Índice de figuras

Figura 1	Proceso de fermentación del biogás.....	8
Figura 2	Biodigestores simples mas empleados.....	11
Figura 3	Diagrama de flujo que resume las posibilidades de uso del biogás.....	12
Figura 4	Ubicación de la zona de estudio, caserío El Porvenir, Distrito de Bagua Grande.....	17
Figura 5	Procedimiento de calculo del sistema a biogás para generación de electricidad .....	18
Figura 6	Comportamiento de la temperatura en la zona de estudio, año 2019.....	26
Figura 7	Geometria y dimensiones de la zanja trapezoidal .....	30
Figura 8	Topología del sistema a biogás para generación de electricidad.....	35

## Resumen

El objetivo de la investigación fue diseñar un biodigestor para generación de electricidad a partir de estiércol de ganado vacuno en el caserío El Porvenir, distrito de Bagua Grande – Amazonas; para suministro de energía eléctrica a la Institución Educativa 16599 El Porvenir. La energía es uno de los factores más importantes para la prosperidad. Además, el reciente aumento de los precios del petróleo puede impulsar la economía actual hacia fuentes de energía alternativas como el biogás, y mucho más en zonas que no cuentan suministro eléctrico. La metodología que se utilizó es aplicada, con un nivel de investigación descriptiva, y un diseño campo gabinete. Se determinó el consumo de electricidad de la Institución Educativa 16599 El Porvenir es 5.03 kWh/día, para una demanda eléctrica de 1.129 kW. Se consideró una muestra de 15 vacas grandes y 4 terneros no estabulados. Para el ganado estabulado de noche, solo se utilizó el 25 % del estiércol, la cantidad total de excretas es de 60.25 kg/día. El volumen de biomasa en el biodigestor resultó 3.62 m<sup>3</sup>, y el volumen de biogás es 4.82 m<sup>3</sup>. Se seleccionó un biodigestor tubular de plástico de 8.44 m<sup>3</sup>, ancho del rollo 1.75 m, radio 0.56 m, longitud 8.56 m, y relación L/d 7.64. La producción electricidad teórico es 20.89 kWh/día. Se seleccionó un grupo electrógeno a biogás, marca PUXIN, 1.5 kW, 220V, 60 Hz, la producción electricidad llega a 7.23 kWh/día. La evaluación económica resultó rentable respecto a un sistema de generación a gasolina, con un VAN de S/. 38366.54 positivo y un TIR 54.78 %, con un tiempo de recuperación a corto y mediano plazo de 2.29 años. Se analizó tomando un interés para el VAN de 12 %, y la vida útil 20 años.

**Palabras clave:** Diseño, sistema a biogás, biodigestor, generación de electricidad, evaluación económica.

## Abstract

The objective of the research was to design a biodigester to generate electricity from cattle manure in the El Porvenir farmhouse, district of Bagua Grande- Amazonas; to supply electricity to the Educational Institution 16599 El Porvenir. Energy is one of the most important factors for prosperity. In addition, the recent increase in oil prices can drive the current economy towards alternative energy sources such as biogas, and much more in areas that do not have electricity supply. The methodology that was used is applied, with a descriptive research level, and a cabinet field design. The electricity consumption of the Educational Institution 16599 El Porvenir was determined to be 5.03 kWh/day, for an electrical demand of 1.129 kW. A sample of 15 large cows and 4 unhoused calves was considered. For cattle housed at night, only 25% of the manure was used, the total amount of excreta is 60.25 kg/day. The volume of biomass in the biodigester was 3.62 m<sup>3</sup>, and the volume of biogas is 4.82 m<sup>3</sup>. A tubular plastic biodigester of 8.44 m<sup>3</sup>, roll width 1.75 m, radius 0.56 m, length 8.56 m, and L/d ratio 7.64 was selected. The theoretical electricity production is 20.89 kWh/day. A biogas generator set was selected, PUXIN brand, 1.5 kW, 220V, 60 Hz, electricity production reaches 7.23 kWh/day. The economic evaluation was profitable compared to a gasoline generation system, with a VAN of S/. 38366.54 positive and an TIR 54.78%, with a recovery time in the short and medium term of 2.29 years. It was analyzed taking an interest for the VAN of 12%, and the useful life of 20 years.

**Keywords:** Design, biogas system, biodigester, electricity generation, economic evaluation

## I. Introducción

### 1.1 Realidad problemática

La energía es uno de los factores más importantes para la prosperidad global. La dependencia de los combustibles fósiles como principal fuente de energía ha provocado el cambio climático global, la degradación del medio ambiente y problemas de salud humana. En el año 2040, se prevé que el mundo tendrá entre 9 y 10 mil millones de personas y deberá contar con energía y materiales (Budiyono, Widiyasa, Johari, y Sunarso, 2010). La creciente demanda de energía a nivel mundial en base a combustibles fósiles ha causado severos daños al medio ambiente, el uso de excretas de ganado vacuno y porcino para la generación de biogás y la captación de electricidad es una opción de energía renovable que resulta altamente atractiva en términos de ahorros (Giler y Cedeño, 2020).

Además, el aumento del consumo de energía y la creciente preocupación por la preservación del medio ambiente junto con el concepto de generación distribuida motiva la búsqueda de nuevas fuentes renovables para la generación de energía. Entre las fuentes con gran potencial para la generación de electricidad, la energía de la biomasa tiene un papel importante en la matriz energética mundial. Actualmente los mayores consumidores de energía a base de biomasa son los países en vías de desarrollo, donde la participación en la matriz energética alcanza el 40%. En el mundo, la biomasa representa el 10-14% del suministro de energía (Oliveira et al., 2012). En este sentido, los materiales de biomasa se han visto como una forma de expandir el suministro de energía, ayudar a mitigar la creciente dependencia de los combustibles fósiles y resolver los peligros ambientales y para la salud que emanan como efectos secundarios del uso de recursos fósiles en muchos países en desarrollo y desarrollados (Manyi-Loh et al., 2013).

A nivel nacional buscan establecer metodologías de diseño de biodigestores tipo para la producción de biogás y obtención de biol, a partir de excretas de animales, en zonas rurales. De esta manera, la instalación de estos sistemas permite que las familias de pequeños productores del sector agropecuario puedan disponer de un combustible de mejor calidad y limpieza, aparte de poder mejorar la productividad de sus campos de cultivo y ahorrar en la

compra de fertilizantes. Dejando precedentes para un posible escalamiento de la planta de producción de biogás que permita llegar a generar energía eléctrica (García et al., 2017).

A nivel local, varias comunidades rurales del distrito de Bagua Grande, así como el caserío El Porvenir, y en específico la Institución Educativa 16599, no tienen acceso a la electricidad debido al costo de distribución y dificultades territoriales alejas a la red eléctrica del concesionario. Alternativamente, muchas de estas comunidades adoptan sistemas de generación de energía aislados con motores de combustión interna a gasolina y diésel. Considerando que la biomasa es la materia prima para la producción de biogás, el uso de biodigestores es una buena alternativa para la producción de energía eléctrica, considerando que los pequeños generadores son capaces de convertir el biogás en energía eléctrica.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Se puede diseñar un biodigestor para generación de electricidad a partir de estiércol de ganado vacuno en el caserío El Porvenir, distrito de Bagua Grande – Amazonas, para suministro de energía eléctrica a la Institución Educativa 16599 El Porvenir?.

## **1.3 Justificación de la investigación**

### **1.3.1 Justificación Social**

La práctica de actividades ganaderas ha contribuido en gran medida al deterioro del medio ambiente. Por lo tanto, debido a las múltiples acciones emprendidas por el sector agrícola del país, la contaminación del suelo y los recursos hídricos se ha tornado cada vez más grave. Dado que el sector genera una gran cantidad de desechos orgánicos, esto constituye factores de riesgo para los recursos. En la Amazonía, y en especial en el caserío El Porvenir son principalmente los agricultores quienes siembran pastos y destruyen bosques, están afectando la calidad del paisaje típico de la zona, y que con el proyecto los excrementos de ganado (heces) se utilizaran para generación de biogás y electricidad.



### **1.3.2 Justificación ambiental**

Los excrementos de ganado (heces) se consideran un contaminante ambiental que provoca el calentamiento global. La generación de electricidad a partir de estiércol de ganado para suministrar energía eléctrica, genera menos contaminación ambiental. Por otra parte se puede utilizar el biol como fertilizante natural para la agricultura.

### **1.3.3 Justificación económica**

La producción de biogás y fertilizantes orgánicos, que no solo es crucial para el desarrollo de la biotecnología, sino que también hace una gran contribución a la gestión de los residuos sólidos orgánicos, ya que los recursos necesarios para obtener materias primas son fáciles de obtener, por lo que se pueden producir a bajo costo. Por tanto, el biogás puede satisfacer las necesidades energéticas para la Institución Educativa 16599 El Porvenir.

### **1.3.4 Justificación científica**

Aumenta los conocimientos teóricos de estudiantes y tesista, a fin de avanzar en el conocimiento de la línea de investigación energías renovables. Por otra parte, la investigación se justifica también metodológicamente, ya que se desarrolla una metodología detallada que permite obtener conocimiento válido o confiable referente al diseño de sistemas a biogás para generación de electricidad a partir de estiércol de ganado vacuno, para necesidades energéticas de una Institución Educativa rural; y esto permite que también sea aplicable en otras instituciones educativas, o en otros sectores.

## **1.4 Hipótesis**

Se puede diseñar un biodigestor para generación de electricidad a partir de estiércol de ganado vacuno en el caserío El Porvenir, Distrito de Bagua Grande–Amazonas; para suministro de energía eléctrica a la Institución Educativa 16599 El Porvenir.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Diseñar un biodigestor para generación de electricidad a partir de estiércol de ganado vacuno en el caserío El Porvenir, distrito de Bagua Grande – Amazonas; para suministro de energía eléctrica a la Institución Educativa 16599 El Porvenir.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Determinar el consumo de electricidad de la Institución Educativa 16599 El Porvenir.
- Determinar la cantidad y caracterización de estiércol de ganado vacuno en el caserío El Porvenir, como materia prima.
- Dimensionar el biodigestor para generación de electricidad a partir de estiércol de ganado vacuno, para suministro de electricidad a la Institución Educativa 16599 El Porvenir.
- Evaluar económicamente el proyecto.

## II Marco teórico

### 2.1 Antecedentes

#### 2.1.1 A nivel internacional

Giler y Cedeño (2020) diseñó un biodigestor de estiércol de bovino para transformación de biogás en energía eléctrica en Ecuador. Mediante la descripción del método descriptivo-experimental y la recopilación bibliográfica de estudios previos, se recogió información donde se tomó la muestra de estiércol de 6 vacas durante 5 días consecutivos obteniendo un promedio de 7.5 Kg por día, además, en este estudio se construyeron dos prácticos biodigestores utilizando dos 20 litros, tambores, tuberías y válvulas, el primero llamado biodigestor experimental, el cual fue monitoreado durante el tiempo de permanencia del sustrato en el cual se recolectaron datos de temperatura, se realizaron pruebas de probeta y llama durante el proceso de generación de biogás. Las fórmulas de diseño de biodigestor tubular al vacío se aplicaron a los resultados del proyecto experimental a un total de 15 cabezas de ganado y así obtener resultados globales por los cuales se eligió el biodigestor experimental. Se concluyó que la producción de gas metano es de  $2.83 \text{ m}^3$  por día, lo que aportaría el 45% del valor total que necesita el vivero para cubrir las actividades en las que utiliza Gas Licuado de Petróleo (GLP).

Madeira et al., (2019) realizó un estudio de generación de electricidad a partir de biogás utilizando estiércol de ganado. Una evaluación del potencial en la comunidad Quilombola (Brasil). Manifiestan que el biogás produce energía sostenible y se compone principalmente de metano (60%) y dióxido de carbono (35% a 40%). El estudio presenta el potencial de biogás del procesamiento de agua residual de la yuca para la producción de harina seca (manipueira). Los resultados de este estudio indicaron que el potencial de biogás es de  $1389312 \text{ cm}^3$  por año a partir de un reactor de una etapa con una capacidad de 60 litros utilizando manipueira como sustrato e inoculado con estiércol de ganado, que podría proporcionar una generación de electricidad de 214 kWh/año.

Obileke et al. (2020) diseñaron y fabricaron un biodigestor de plástico para la producción de biogás a partir de estiércol de vaca. El estudio proporciona un análisis detallado del diseño y la fabricación de un biodigestor de plástico piloto de  $2.15 \text{ m}^3$  para la generación

de biogás. Para establecer esto, desarrollaron una ecuación de diseño que cubría el volumen del digester, las cámaras de entrada y salida y la placa de cubierta del digester considerando la forma del digester. La cámara de digestión del digester de biogás en estudio se fabricó con plástico de polietileno de alta densidad, mientras que las cámaras de entrada y salida se construyeron con ladrillos/cemento. En el presente estudio, se realizó una prueba de ventilación después de la fabricación para garantizar que el digester no tenga fugas. Los resultados obtenidos mostraron un rendimiento volumétrico total de gas metano de  $2.18 \text{ m}^3$  (54.50 %) y un rendimiento de dióxido de carbono de  $1.77 \text{ m}^3$  (44.25 %), lo que hace un rendimiento total de biogás de  $4.00 \text{ m}^3$ . Además, se encontró que la concentración porcentual de metano y dióxido de carbono era 60% y 30%, respectivamente. Se ha descubierto que el digester de biogás de plástico desarrollado es apropiado para la producción de biogás utilizando estiércol de vaca como sustrato.

### **2.1.2 A nivel nacional**

Ruiz (2020) diseñó un biodigester para generar energía a partir de estiércol de ganado en una casa rural en CC.PP. La cantera de la zona de Pátapo-Chiclayo-Lambayeque. Las casas de esta zona son de materiales rústicos, y se generará mucho humo en este lugar. Del diseño propuesto para la producción de biogás doméstica a partir del estiércol de vacuno existente en el poblado las Canteras, la producción diaria de estiércol es de 314,0 kg/día; la materia seca es del 6%; el potencial diario de biogás es de 0.55 metros cúbicos. El biodigester que recomiendan implementará será tubular taiwanés, ya que además de economía se requiere una tecnología constructiva simple, su construcción requerirá una fosa de 4 m de largo, 1 m de profundidad y 1.2 m de ancho de terreno. Las dimensiones de Biobolsa son 1.25 m de diámetro, 4 m de longitud y un volumen total de  $4.90 \text{ m}^3$ , el volumen de almacenamiento de biogás es de  $1.60 \text{ m}^3$ . El presupuesto total en la implementación del digester biológico es de S/.3909.20, el costo de operación y mantenimiento es S/. 300 al año.

Collasos y Vargas (2019) diseñaron un sistema a biogás para el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos de camal municipal de Jaén para generar biogás y satisfacer con la demanda energética del camal. En el matadero de la ciudad de Jaén, se sacrifican ganado y cerdos (ovinos y otros en poca frecuencia), donde se producen desechos orgánicos (principalmente estiércol) y se descargan en las alcantarillas cercanas. Determinaron

que la cantidad diaria de materia orgánica generada en el camal municipal es de 646.5 kg por día. Se han determinado las dimensiones básicas y los accesorios para su implementación, se estima que el sistema produce 18.91 m<sup>3</sup> de biogás por día. Asimismo, determinaron que la demanda máxima de electricidad para el camal municipal fue de 2.7 kW, de los cuales se seleccionó un grupo electrógeno de 5 kW para cubrir las necesidades eléctricas del local. La evaluación económica muestra que la TIR es de 47 %, el VAN de S/. 244674.3, y un tiempo de retorno de 3 años. Los datos muestran que es posible ejecutar el proyecto.

### **2.1.3 A nivel regional o local**

En zona del proyecto, específicamente en Bagua Grande, no se cuenta con este tipo de proyectos de investigación, solo se tiene referencias internacionales y nacionales. Los alcances que se pretenden lograr con la investigación es determinar el consumo de electricidad de la Institución Educativa 16599 El Porvenir, determinar la cantidad de estiércol de ganado vacuno, dimensionar el biodigestor para generación de electricidad, y finalmente la evaluación económica con respecto a un grupo electrógeno monofásico a gasolina.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Biomasa**

La biomasa es toda la materia orgánica que proviene de los desechos de animales, plantas y árboles, y se puede convertir en energía. Residuos agrícolas (maíz, café, arroz), residuos de aserradero (poda, serrín, cortezas), residuos urbanos (aguas residuales, residuos orgánicos, etc.). Es la energía renovable más antigua conocida por la humanidad. Porque nuestros antepasados lo han estado usando desde que descubrieron el secreto del fuego (Arivilca y Orbegozo, 2010).

Algunos animales, como los rumiantes (ganado), liberan metano durante la digestión. Durante la digestión, los microorganismos descomponen los carbohidratos, permitiendo que la sangre del animal los absorba (fermentación intestinal). La segunda forma en que los animales pueden producir metano es a través de la descomposición del estiércol. Se trata con un sistema

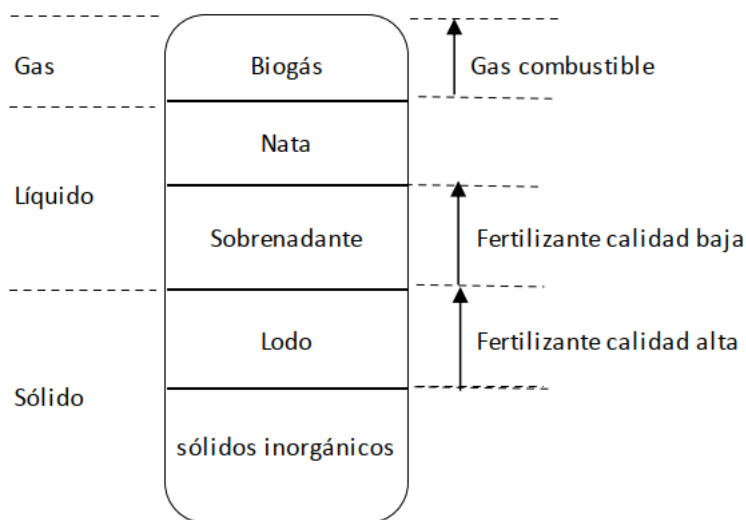
de tratamiento para el estiércol y se descompone sin oxígeno para producir grandes cantidades de gas. La temperatura crítica del metano es de 82.7 °C y la presión crítica es de 5.96 kg /cm<sup>2</sup>. Estas propiedades hacen que el equipo de licuefacción de gas consuma mucha energía, por lo que el gas debe utilizarse en su estado natural (García y Sanchez, 2014).

### 2.2.2 Biogás y la digestión anaeróbica

Es una mezcla de gases, cuyos componentes principales son el metano y el dióxido de carbono. Se produce fermentando materia orgánica en condiciones libres de aire bajo la influencia de un grupo de microorganismos (Mago et al., 2014). En la Figura 1, se muestra el proceso de fermentación del biogás.

**Figura 1**

*Proceso de fermentación del biogás*



*Nota.* Elaboración propia, adecuado de Arivilca y Orbezo (2010)

El biogás generado está constituido principalmente por metano CH<sub>4</sub> (50-75%), CO<sub>2</sub> (25-45%) y otros gases como CO, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>, y vapor de agua (Manyi-Loh et al., 2013). En

la Tabla 1, se muestran diversos componentes del biogás generado a partir del proceso de digestión anaeróbica.

**Tabla 1**

*Diversos componentes del biogás generado a partir del proceso de digestión anaeróbica*

<b>Componente</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Metano	CH <sub>4</sub>	50-75
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	25-45
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1-2
Amoníaco	NH <sub>3</sub>	<1
Vapor de agua	H <sub>2</sub> O	2-7
Oxígeno	O <sub>2</sub>	<2
Sulfuro de hidrógeno	H <sub>2</sub> S	<1

*Nota.* Elaboración propia, tomado de Manyi-Loh et al. (2013).

Generalmente, los factores que afectan el desempeño de un digester anaeróbico incluyen factores operativos (PH, temperatura, tasa de carga orgánica/tiempo de retención hidráulica, concentración de amoníaco libre), características del sustrato/biodegradabilidad y diseño del biodigestor. Los factores anteriores tienen un gran impacto en la digestión anaeróbica del estiércol animal. No obstante, no deben pasarse por alto otros factores (Manyi-Loh et al., 2013). La degradación de la materia orgánica que ocurre en situaciones naturales también puede reproducirse en biodigestores (Freitas et al., 2019).

### **2.2.3 Biodigestores**

Un biodigestor es un recipiente cerrado y hermético, dentro del cual se encuentra la sustancia orgánica colocado en combinación de agua-estiércol, por un tiempo y en un temperatura media de 30 °C permite degradación anaeróbicos que genera gas metano y fertilizantes, lo que reduce el potencial contaminante de los excrementos. El biodigestor se puede construir con ladrillo cemento y plástico formando un recipiente impermeable que permite la generación de biogás (Mullo et al., 2018).

El empleo de tecnología de digestión anaeróbica para el tratamiento de residuos es posible y deseable dado que contribuye a la preservación del medio ambiente, hace viables los sistemas de producción modernos y optimiza la relación costo/beneficio de la empresa. Vale señalar que la tecnología de biodigestores ya está disponible, sin embargo, las mayores barreras no parecen ser de naturaleza tecnológica sino política y regulación. Dentro de los tipos de biodigestores, China e India dominan las mejores tecnologías de construcción. El principal objetivo de China es obtener biofertilizantes para la producción de alimentos, mientras que India busca reducir el déficit energético (Freitas et al., 2019).

**a) Biodigestor modelo hindú**

En este modelo, la etapa de fermentación es más rápida. El biodigestor consta del tanque principal (cámara de fermentación) donde ocurrirá la digestión de la biomasa. El tanque principal suele estar enterrado en el suelo, aprovechando así la baja variabilidad de la temperatura del suelo para favorecer la acción de las bacterias. El tanque principal está dividido en dos cámaras por un tabique que fuerza la circulación del material a través del biodigestor. El biogás generado se retiene en una cubierta metálica en forma de campana instalada encima del biodigestor, que regula la presión interna (Freitas et al., 2019). La Figura 3, muestra un biodigestor modelo hindú.

**b) Biodigestores modelo chino**

El modelo chino es más sencillo y económico en comparación con el hindú. Este biodigestor funciona según el principio de la prensa hidráulica. Si la acumulación de biogás provoca un aumento de la presión interna, el efluente de la cámara de fermentación será forzado a la caja de salida, y en sentido contrario en caso de descompresión. El almacenamiento del biogás ocurre dentro de su propia estructura, la cual está constituida por una cámara cilíndrica para fermentación (hecha de mampostería) y un techo impermeable (Freitas et al., 2019). La Figura 3, muestra la vista frontal de un biodigestor modelo chino.

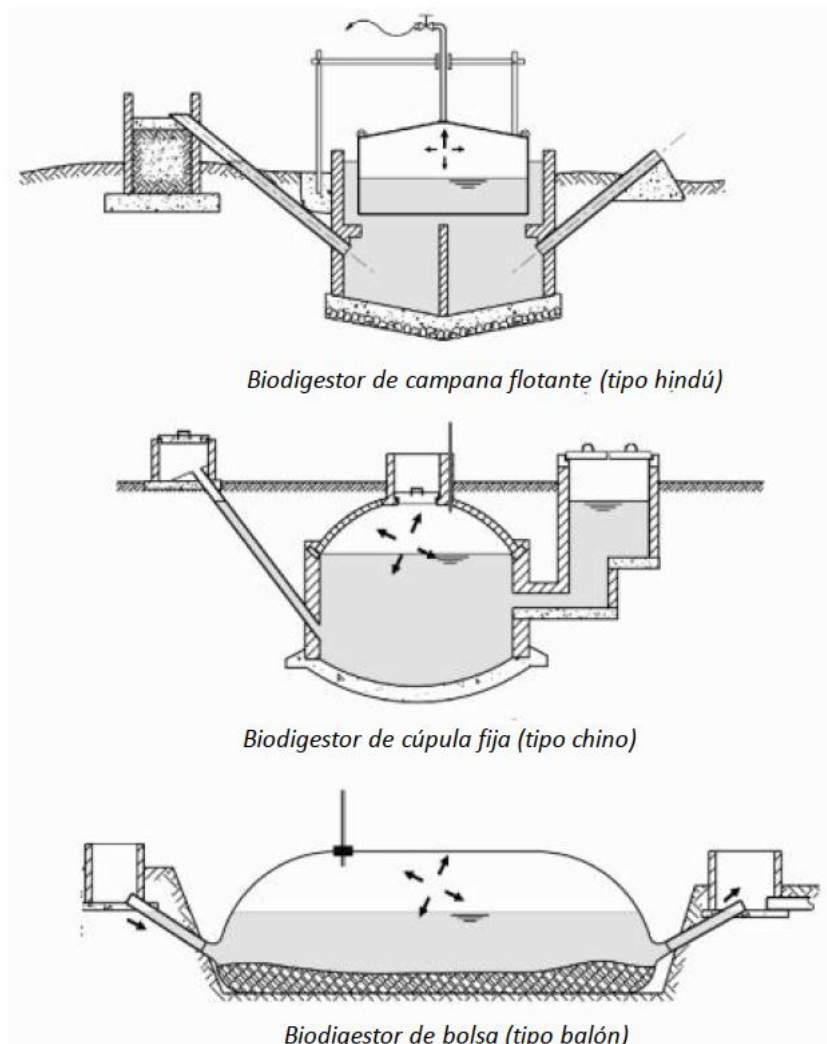


c) **Biodigestor tipo bolsa**

También conocido como de estructura flexible, ya que consiste en una bolsa de polietileno o PVC parcialmente llena y el biogás generado se almacena en el espacio vacío de la parte superior (Fandiño, 2018). Sin embargo, el material digestible debe ser resistente a los rayos UV. De lo contrario, puede desactivar los metanógenos (García et al., 2017). La Figura 2, muestra un biodigestor de bolsa (tipo balón).

**Figura 2**

*Biodigestores simples mas empleados*



*Nota.* Elaboración propia, adecuado de Chacón (2017)

### 2.2.4 Producción de energía eléctrica

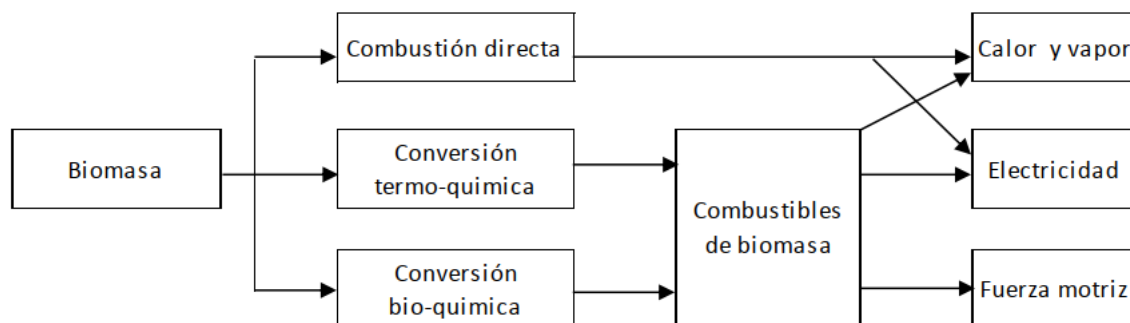
El biogás se utiliza como combustible en un motor de combustión interna conectado a una maquina síncrono que funciona como generador. La electricidad generada es de aproximadamente 6.8 kWh /m<sup>3</sup> de biogás (Mago et al., 2014).

Los estudios han demostrado que el biogás se puede producir a partir de diversas materias primas por conversión termoquímica o bioquímica. La combustión directa del biogás y su uso en motores de combustión interna son los principales tipos de aplicación del biogás. En el proceso de combustión directa, el biogás se quema en las cámaras de combustión de las calderas, calentadores, secadores y el calor liberado es utilizado en los procesos de producción. Por otro lado, el biogás se puede quemar en motores primarios (motores de combustión interna o turbinas de gas) para producir electricidad o energía mecánica. Los motores de combustión interna convierten la energía del biogás en energía mecánica, que se utiliza directamente para alimentar una carga (una bomba, un ventilador, etc.) o un vehículo, o se pueden conectar al motogenerador, que puede ser utilizado en zonas rurales, propiedades agroindustriales para la generación distribuida de electricidad (Freitas et al., 2019).

La Figura 3, muestra el diagrama de flujo que resume algunas posibilidades de utilizar biogás como combustible alternativo.

**Figura 3**

*Diagrama de flujo que resume las posibilidades de uso del biogás*



*Nota.* Elaboración propia, adecuado de Hernandez (2018)

### 2.2.5 Evaluación económica

El análisis económico comienza con el cálculo del capital de trabajo, el costo de inversión y el costo operativo que es necesario para operar el proceso de producción. Al conocer el precio de la energía eléctrica y en algunos casos los fertilizantes, la evaluación continua calculando el valor de la ganancia, el flujo de caja y los indicadores económicos, es decir, el valor actual neto (VAN), la tasa interna de rendimiento (TIR), y Periodo de Recuperación (PR) (Wresta et al., 2015). La inversión viable, cuando  $R$  es mayor que la rentabilidad mínima; se rechaza cuando es inferior. El TIR, puede utilizarse como indicador de rentabilidad de un proyecto. Para la evaluación económica se utiliza las Ecuaciones (1) y (2).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i_t)^t} - I \quad (1)$$

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+R)^t} - I = 0 \quad (2)$$

Donde:

$I$  : Valor del desembolso inicial

$FC_t$  : Flujos de caja en cada periodo

$i_t$  : Es la rentabilidad mínima

$n$  : Años que dura la inversión

$R$  : Tipo de interés o tasa de retorno

### 2.3 Definición de términos

**Bioenergía:** Energía renovable producida a partir de materia orgánica. Conversión de los carbohidratos complejos de materia orgánica en energía (Arivilca y Orbezo, 2010).

**Biodigestor:** Un tanque aislado en el que las bacterias descomponen la biomasa en el agua para producir biogás (Arivilca y Orbezo, 2010).

**Biomasa:** Materia orgánica disponible. Hay biomasa primaria, secundaria y terciaria (Arivilca y Orbegozo, 2010).

**Estiércol:** Este es el nombre del estiércol animal, y su lugar de almacenamiento se llama pila de estiércol. Este estudio utiliza estiércol de ganado.

**Digestión anaeróbica:** Ocurre típicamente en cuatro etapas: hidrólisis, producción de ácido, producción de ácido acético y metanogénesis. Otro posible proceso es la reducción de nitrato y sulfato utilizando amoníaco o nitrógeno y sulfuro de hidrógeno respectivamente como subproductos (Arivilca y Orbegozo, 2010).

**Temperatura:** Este es un factor importante en presencia de bacterias en procesos anaeróbicos. Como todos los procesos biológicos, los procesos anaeróbicos son sensibles a la temperatura.

**Biogásificación o biometanización:** El proceso de descomposición de la biomasa por bacterias anaeróbicas para producir biogás.

**Combustible gaseoso:** El biogás generado a partir de la digestión anaeróbica o gasificación se puede utilizar para motores de combustión interna, generación de energía, calefacción y aire acondicionado en el sector residencial y comercial.

**Biogás:** Gas producido a partir de la biodegradación de residuos en condiciones anaeróbicas, el biogás generalmente contiene 50-60% de metano (Arivilca y Orbegozo, 2010).

**Combustión y emisiones:** La biomasa está compuesta principalmente por carbono y oxígeno. También contiene hidrógeno, pequeñas cantidades de nitrógeno, azufre, cenizas y agua, dependiendo de la humedad relativa.

**Energía eléctrica:** La energía eléctrica generalmente se produce mediante generadores eléctricos, pero también puede ser suministrada por fuentes como baterías eléctricas. Por lo general, se suministra a empresas, y hogares (como electricidad de la red doméstica) a través de una red eléctrica.

**Poder calorífico:** Es la cantidad de energía que desprende la unidad de masa de un combustible cuando éste se quema. Se diferencia el poder calorífico superior (PCS), que supone la energía bruta generada, sin descontar la utilizada en la evaporación del agua producida en la combustión, del poder calorífico inferior (PCI), que es la energía neta generada, descontando la que se utilizará en evaporar el agua producida en la combustión (Arivilca y Orbegozo, 2010).

### **III Materiales y métodos**

#### **3.1 Diseño de la investigación**

Por la naturaleza de los objetivos planteados y la metodología propuesta y desarrollada, el diseño de la investigación es de campo y gabinete (no experimental). La investigación es aplicada con un nivel de investigación descriptivo.

#### **3.2 Población y muestra**

La población y muestra son las cargas de consumo de electricidad de la Institución Educativa 16599 El Porvenir, y la producción diaria de materia prima. Por lo tanto la muestra será equivalente a la población. Muestreo no probabilístico.

#### **3.3 Determinación de variables**

- **Variable dependiente.**  
Energía eléctrica a la Institución Educativa 16599 El Porvenir.
- **Variable independiente.**  
Diseño un biodigestor para generación de electricidad

#### **3.4 Matriz de operacionalización de variables**

Para la matriz de operacionalización de variables, se tomó en cuenta el problema y la solución, por cada variable se consideró sus respectivos indicadores medibles, que se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2***Operacionalización de variables*

	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Dependiente</b>	Energía eléctrica a la Institución Educativa 16599 El Porvenir.	- Potencia eléctrica (kW) - Energía eléctrica (kWh/día)
<b>Independiente</b>	Diseño un biodigestor para generación de electricidad	- Masa estiércol de ganado vacuno (kg/día) - Volumen biodigestor (m <sup>3</sup> ) - Producción de biogás (m <sup>3</sup> /día) - Producción de energía eléctrica (kWh/día) - VAN - TIR

**3.5 Fuentes de información**

La fuente de información primaria es la recolección de datos de campo, como cargas de consumo de electricidad de la Institución Educativa 16599 El Porvenir, y la producción diaria de materia prima (estiércol de ganado), y otras variables climatológicas como temperatura máxima y mínima obtenidos del aplicativo de la NASA; y las fuentes secundarias fueron bases de datos bibliográficos consultadas en internet como repositorios de Universidades, Researchgate, y Scielo.

**3.6 Métodos**

Se aplica los métodos teóricos inductivo-deductivo, análisis y síntesis.

El método inductivo se refiere al primer vistazo con lo que se plantea el problema, para el estudio el problema es suministro de energía eléctrica a la Institución Educativa 16599 El Porvenir; y la deducción que permitió afirmar que una situación producirá determinado resultado.

Análisis y síntesis, se trata de descomponer el objeto de estudio en sus componentes, a fin de conocer la naturaleza del fenómeno, sus causas y efectos, su lógica, así como lo específico del funcionamiento de las partes del biodigestor para generación de electricidad y suministro de electricidad a la Institución Educativa 16599 El Porvenir.

### 3.7 Técnicas e instrumentos

Se utiliza la técnica de observación y la técnica de análisis documental.

- Las técnicas de observación: Instrumentos como guías de observación, librería de notas, fotos.
- La técnica de análisis de documentos: Instrumentos como guías de análisis de análisis documental.

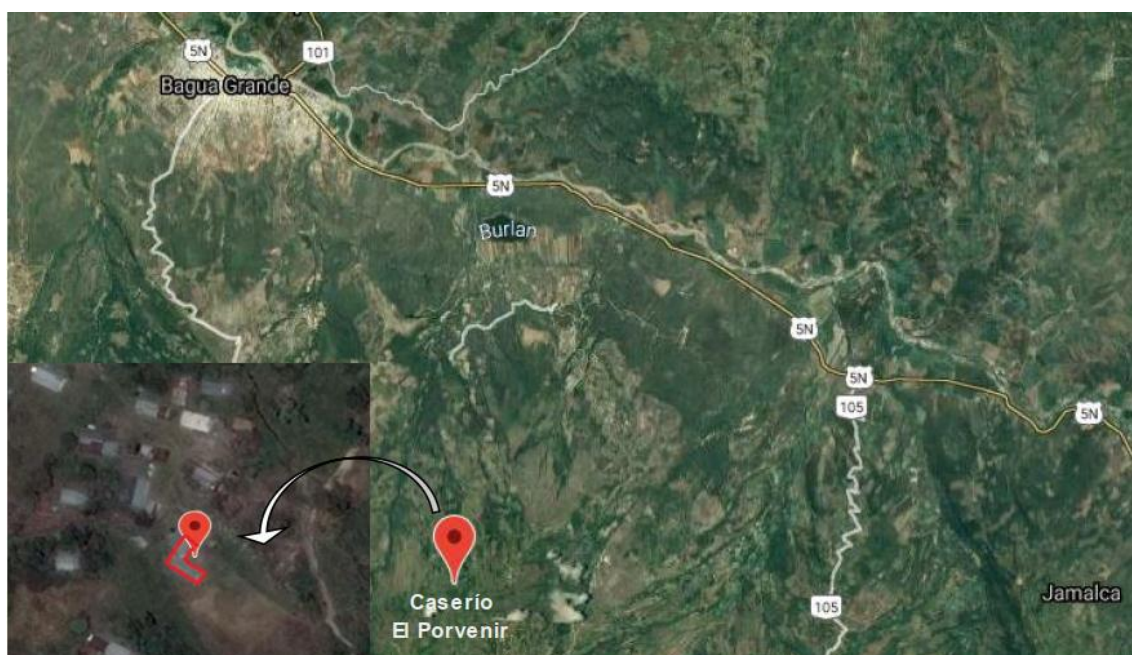
### 3.8 Procedimiento

#### a) Localización geográfica del área de estudio

El área de estudio comprende el caserío Porvenir, ubicado en el distrito de Bagua Grande. Su localización geográfica se delimita alrededor de la intersección del meridiano  $-78,393835$  de longitud oeste y  $-5,861740$  de latitud sur, con una altura media sobre el nivel del mar de 2400 metros, y una temperatura promedio de  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En la Figura 4, se muestra la ubicación de la zona de estudio.

#### Figura 4

*Ubicación de la zona de estudio, caserío El Porvenir, Distrito de Bagua Grande*



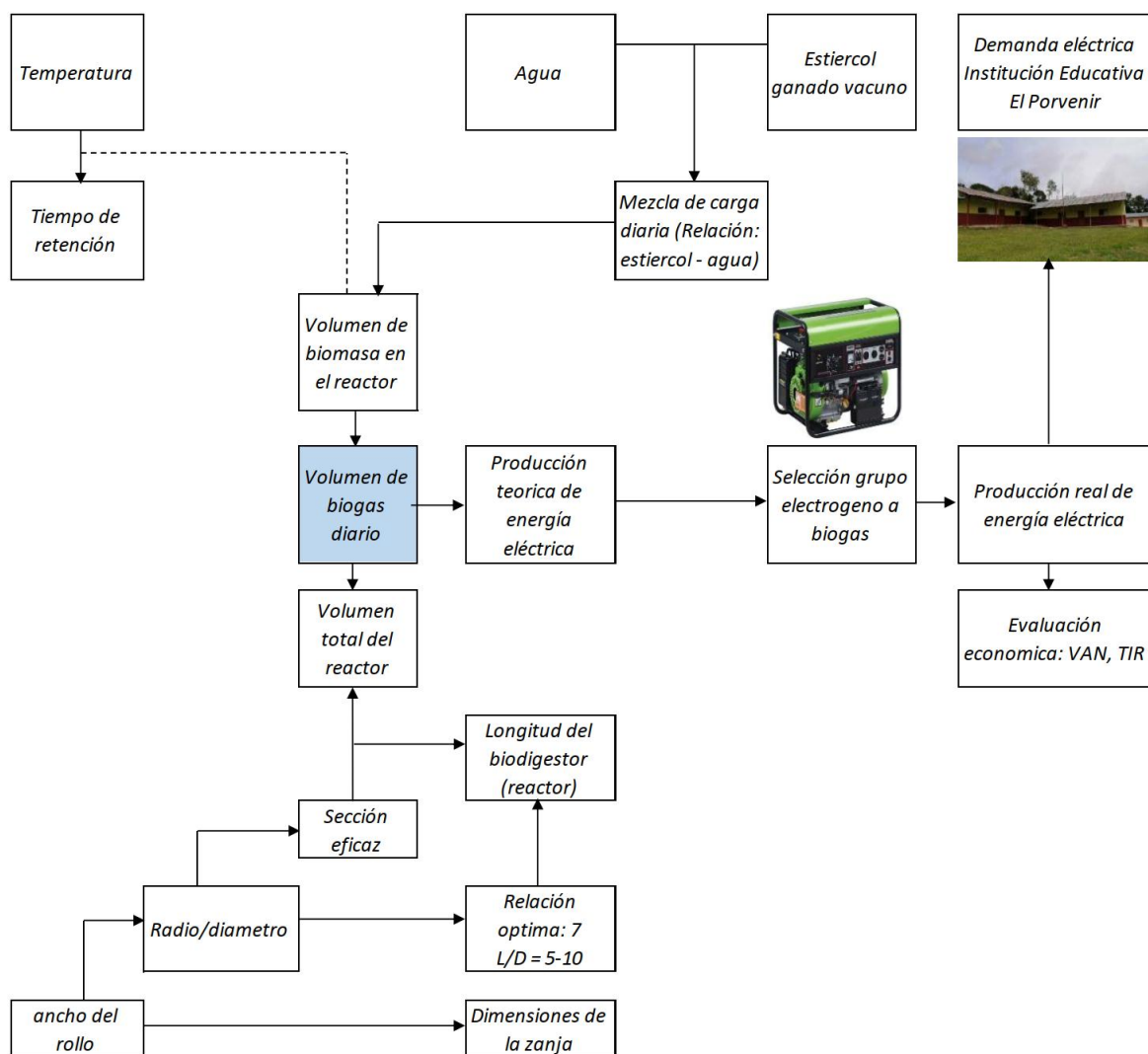
*Nota.* Elaboración propia

## b) Procedimiento de cálculo sistema a biogás para generación de electricidad

Para el dimensionamiento del sistema a biogás para generación de electricidad, y suministrar energía eléctrica a la Institución Educativa El Porvenir, y de acuerdo a los objetivos, se desarrolló el procedimiento de cálculo indicado en la Figura 5.

**Figura 5**

*Procedimiento de calculo del sistema a biogás para generación de electricidad*



*Nota.* Elaboración propia



### **3.9 Análisis de datos**

Para el análisis de datos y procesamiento de tablas se utilizó el Excel. La interpretación se realizó en términos de los resultados de la investigación. Esta actividad consiste en hacer inferencias sobre las relaciones entre las variables estudiadas con el fin de sacar conclusiones y recomendaciones

### **3.10 Consideraciones éticas**

La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Además, la tesis no atenta contra los derechos de terceros.

## IV Resultados

### 4.1 Resultados consumo eléctrico Institución Educativa 16599 El Porvenir

La Institución Educativa 16599 El Porvenir, cuenta con 02 ambientes (aulas), dirección, y también con servicios higiénicos, que son tomados en cuenta para determinar las cargas eléctricas por iluminación. También se consideró cargas eléctricas de equipos electrónicos. En la Tabla 3, se especifican las potencias de los equipos, las horas de funcionamiento, y el consumo diario.

**Tabla 3**

*Resultados de demanda de energía eléctrica diaria de la Institución Educativa El Porvenir*

N°	Descripción/Equipo	Unidad	Potencia (W)	Potencia total (W)	Tiempo (horas diarias)	Consumo diario (kWh/día)
<b>1</b>	<b><i>Iluminación interiores</i></b>					
1.1	Foco ahorrador tipo LED, luz blanca	12	32	384	5	1.92
<b>2</b>	<b><i>Equipos electrónicos</i></b>					
2.1	Computadora portátil	2	100	200	5	1.00
2.2	Impresora	2	100	200	3	0.60
2.3	Teléfono -recarga	5	7	35	3	0.11
2.4	Tablets-recarga	20	8	160	5	0.80
2.5	Televisor a color	1	150	150	4	0.60
<b>Total</b>				<b>1129</b>		<b>5.03</b>

*Nota.* Elaboración propia

Tras obtener los consumos de las cargas eléctricas de la Institución Educativa se obtuvo el consumo diario. Se consideró que este consumo de energía eléctrica es constante durante todo el año, aunque sí que es deducible que a lo largo del día, hay picos más destacados de consumo al coincidir varias tareas simultáneamente. Para la investigación se ha considerado un factor de simultaneidad igual a 1.

Después de obtener las cargas eléctricas de la Institución Educativa, se obtiene el consumo eléctrico diario. Se consideró que el consumo de energía es constante durante todo el año, pero se puede deducir que cuando se realizan varias actividades a la vez, el consumo pico será más evidente a lo largo del día. El estudio consideró un factor de simultaneidad de 1.

#### 4.2 Resultados cantidad de estiércol de ganado vacuno, caserío El Porvenir

La selección de la materia prima depende de muchos criterios, como la composición química disponibilidad, pre tratamiento adicional, relación carbono/nitrógeno (relación C: N), configuraciones del reactor y otros parámetros (Singh y Chandel, 2018). De acuerdo a Fandiño (2018), la Tabla 4 muestra las diferentes características de varias materias primas de biogás y su influencia en el proceso de Digestión Anaeróbica (DA). Otro aspecto que debe tenerse en cuenta durante la selección de la materia prima es la rentabilidad de todo el proceso.

**Tabla 4**

*Cantidades que genera un animal al día de biogás, y relación de excreta agua*

Especie de animal	Cantidad de excreta diaria (kg)	Rendimiento biogás (m <sup>3</sup> /kg excreta)	Producción de biogás (m <sup>3</sup> /animal. día)	Relación excreta: agua
<b>Vacuno</b>				
Grande	15		0.6	
Pequeños	8	0.04	0.32	1:1
Ternereros	4		0.16	
<b>Ovino</b>				
Grande	5		0.25	
Pequeño	1.5	0.05	5	1:2 a 1:3
<b>Avícola</b>				
Grande	0.15		0.009	
Pequeño	0.05	0.06	0.003	1:3
<b>Porcino</b>				
Grande	2		0.14	
Pequeño	1	0.07	0.7	1:1 a 1:3

*Nota.* Elaboración propia, tomado de Fandiño (2018)

Para la selección de la materia prima se tomó las más cercana al lugar de estudio, y el punto de consumo lo más cerca posible a la planta de biogás. En el caserío El Porvenir se cuenta

con 19 animales vacunos, de los cuales 15 vacas grandes y 4 terneros no estabulados. Para el cálculo de las excretas generadas diariamente se utilizó la Ecuación (3). En la Tabla 5, se muestra la cantidad de biomasa (excretas) generada. Como resultado se tiene que la producción de excreta total es 241 kg/día.

$$C_{Ex-t} = C_{Ex-u} \times N_a \quad (3)$$

Donde:

$C_{Ex-t}$  : Cantidad de excreta total diaria (kg)

$C_{Ex-u}$  : Cantidad de excreta por animal al día (kg)

$N_a$  : Número de animales vacunos

**Tabla 5**

*Resultados de cálculos de cantidad de excreta total diaria*

Vacunos	Número de animales ( $N$ )	Cantidad de excreta diaria por animal día ( $C_{Ex-u}$ ) (kg)	Cantidad de excreta total diaria ( $C_{Ex-t}$ ) (kg)
Vaca grande	15	15	225
Terneros	4	4	16
<b>Total</b>		<b>19</b>	<b>241</b>

*Nota.* Elaboración propia.

La cantidad de estiércol disponible depende del manejo del ganado en la zona. Para el ganado en estabulado, la cantidad total de estiércol a aprovechar es del 100%, y para el ganado estabulado de noche, solo se utiliza el 25% del estiércol. Por tanto, para el proyecto, tomando el 25%, la cantidad total de excretas es de 60.25 kg/día.

### 4.3 Resultados de dimensionamiento del biodigestor

#### 4.3.1 Resultados cantidad biomasa disponible

Para fines de análisis, es necesario calcular la cantidad de estiércol de ganado vacuno que se debe alimentar diariamente al digestor para generar cierta cantidad de energía, la cantidad de agua para diluir el estiércol, el volumen del digestor para convertir el estiércol en biogás. Los cálculos se realizan en función de la cantidad de energía que se desea generar (Wresta et al., 2015).

Se conoce que las excretas de ganado vacuno por naturaleza poseen sólidos y agua. La cantidad de sustrato o carga diaria que ingresa al biodigestor está determinada por la relación entre cantidad de excreta ( $C_{Ex-t}$ ) y el agua ( $H_2O$ ), para el diseño la relación es 1:1, es decir, partes iguales (Giler y Cedeño, 2020). Esto indica que por cada parte de excreta, se necesita una de agua. Para lo cual se utilizó la Ecuación (4).

$$C_{bm-disp.} = C_{Ex-t} + C_{H_2O} \quad (4)$$

$$C_{bm-disp.} = 60.25 \text{ kg excreta diaria} + 60.25 \text{ kg de } H_2O = 120.5 \text{ kg/día}$$

#### 4.3.2 Resultados de volumen de biomasa disponible

El estiércol de vaca se compone de 16 % de materia orgánica seca y 84 % de agua (Fandiño, 2018). Como la mezcla óptima para el digestor debe estar en una proporción de 1:1, por lo tanto contiene un 8 % de materia orgánica seca y un 92 % de agua, y la conclusión es que la densidad de la mezcla es sustancialmente casi igual a la densidad del agua. Por lo tanto, al conocer la densidad del purín de vacuno ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ), se puede encontrar la cantidad de biomasa disponible a partir de la Ecuación (5).

$$V_{bm-disp.} = \frac{C_{bm-disp.}}{\rho_{mezcla}} \quad (5)$$

$$V_{bm-disp.} = \frac{120.5}{1000} = 0.1205 \text{ m}^3/\text{día}$$

Donde:

$V_{bm-disp}$  : Volumen de la biomasa disponible ( $m^3$ )

$C_{bm-disp}$  : Cantidad de biomasa disponible (kg)

$\rho_{mezcla}$  : Densidad de la mezcla ( $kg/m^3$ )

### 4.3.3 Resultados de volumen de biomasa en el digestor

La materia orgánica disponible que entra en el biodigestor, permanecerá en el, un tiempo de retención mínimo para hacer que los microorganismos anaeróbicos crezcan bien sin lavarse (Wresta et al., 2015). Se considera que el tiempo de retención ( $T_R$ ) define el volumen del biodigestor (Giler y Cedeño, 2020). Este es el tiempo entre la carga y descarga del sistema. La velocidad de descomposición depende en gran medida de la temperatura ambiente. Cuanto mayor sea la temperatura, menor será el tiempo de retención requerido

Para seleccionar el Tiempo de Retención ( $T_R$ ), se tomó como referencia la Tabla 6, donde muestra el tiempo de retención según temperatura. De acuerdo a datos de temperatura obtenidos de la NASA indicadas en la Tabla 7, se consideró la temperatura promedio anual de 18 °C, muy cercano al valor 20 °C. También en la Figura 6, se muestra el comportamiento de la temperatura para el año 2019. Por lo tanto para los cálculos se seleccionó un  $T_R$  igual a 30 días. Para determinar el volumen de biomasa en el digestor realizó con la Ecuación (6). Resultando el volumen de biomasa en el biodigestor es 3.62  $m^3$ .

$$V_{bm-bg} = V_{bm-disp} \times T_R \quad (6)$$

$$V_{bm-bg} = 0.1205 \times 30 = 3.62 m^3$$

Donde:

$V_{bm-bg}$  : Volumen de biomasa en el biodigestor ( $m^3$ )

$V_{bm-disp}$  : Volumen de la biomasa disponible ( $m^3$ )

$T_R$  : Tiempo de retención en el biodigestor (días)

**Tabla 6**

*Tiempo de retención según temperatura*

Región Característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Altiplano	10	60
Valle	20	30
Trópico	30	20

*Nota.* Elaboración propia, tomado de Martí (2008)

**Tabla 7**

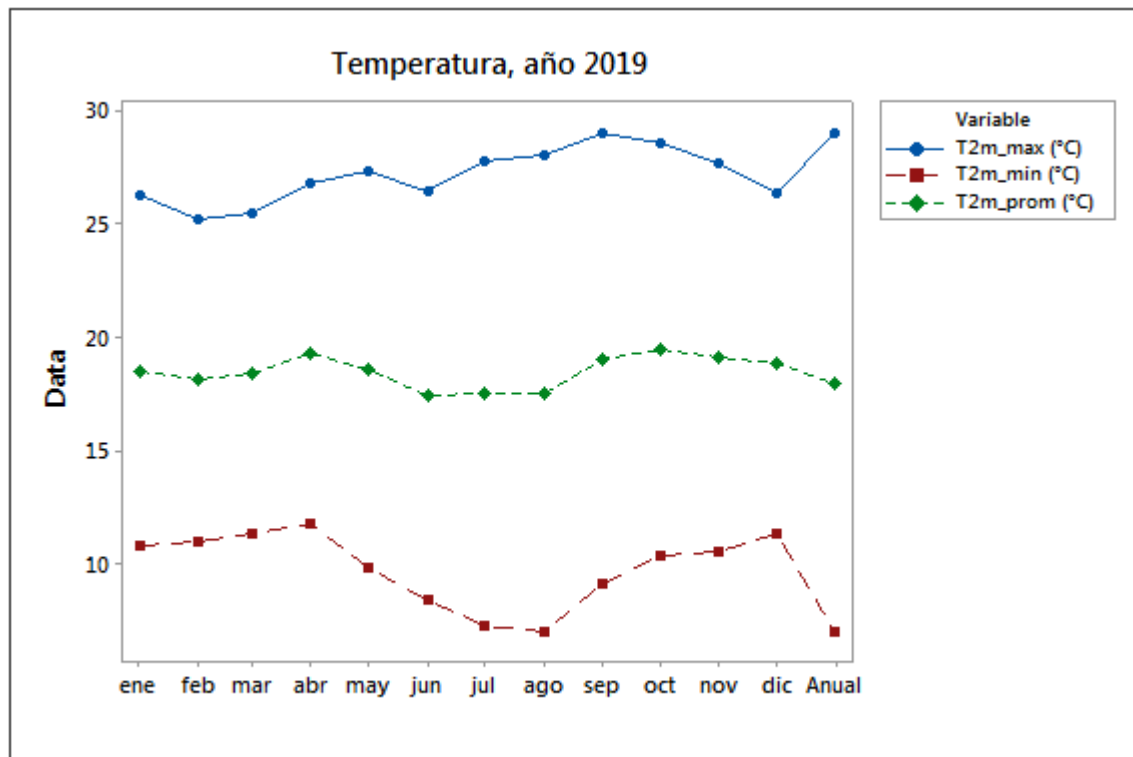
*Temperatura en la zona del proyecto, año 2019*

Parámetros	T2m_max (°C)	T2m_min (°C)	T2m_prom (°C)
Ene	26.25	10.82	18.54
Feb	25.20	11.03	18.12
Mar	25.51	11.31	18.41
Apr	26.78	11.80	19.29
May	27.36	9.81	18.59
Jun	26.45	8.43	17.44
Jul	27.83	7.25	17.54
Ago	28.08	7.01	17.55
Sep	28.99	9.14	19.07
Oct	28.54	10.41	19.48
Nov	27.73	10.55	19.14
Dic	26.39	11.38	18.89
Anual	28.99	7.01	18.00

*Nota.* Elaboración propia. Datos NASA (2021)

**Figura 6**

*Comportamiento de la temperatura en la zona de estudio, año 2019*



*Nota.* Elaboración propia. Datos NASA (2021)

#### 4.3.4 Resultados de volumen de biogás

El volumen de biogás que produce la cantidad de materia que se tiene durante el período de almacenamiento se determinó con la Ecuación (7). Como resultado se tiene que el volumen de biogás es de  $4.82 \text{ m}^3$ , este valor es el volumen de biogás que se producirá en el reactor cada día.

$$V_{bg} = C_{bm-disp} \times \lambda \quad (7)$$

$$V_{bg} = 120.5 \times 0.04 = 4.82 \text{ m}^3$$



Donde:

$V_{bg}$  : Volumen de biogás ( $m^3$ )

$C_{bm-disp}$  : Cantidad de biomasa disponible (kg)

$\lambda$  : Producción específica de biogás ( $m^3/kg$ )

#### 4.3.5 Resultados volumen total del biodigestor

Después de calcular la cantidad de biomasa y biogás, se calculó el volumen total, para la posterior selección del biodigestor. Este cálculo se realizó mediante la Ecuación (8). Resultando que el volumen total del biodigestor es  $8.44 m^3$ .

$$V_{total} = V_{bm-bg} + V_{bg} \quad (8)$$

$$V_{total} = 3.62 + 4.82 = 8.44m^3$$

#### 4.3.6 Resultados dimensiones y material del biodigestor

Desde el punto de vista técnico y económico es que el reactor esté hecho de plástico tubular. Los reactores pueden ser de polietileno (PE) o geo membrana de PVC. Estos son materiales que no se pueden encontrar en el tamaño requerido (Garcia et al., 2017). Por ejemplo, el PE tubular requiere un espesor de 300 micrones ( $\mu m$ ). Sin embargo, se suele fabricar a 200  $\mu m$  (para parasoles). Del mismo modo, el color que se solicita es negro ahumado, pero no transparente, ya que la experiencia ha demostrado que es más resistente a la luz solar. Por lo general, se vende en rollos de 50 m, los anchos de rollo fijo suelen variar entre 1, 1.25, 1.5, 1.75 y 2 (Tabla 8). Se debe considerar que el ancho del rollo corresponde a la mitad de la circunferencia total de la resina (plástico). Estos parámetros determinan el diámetro, o radio del biodigestor.

**Tabla 8**

*Parámetros según ancho de rollo disponible en el mercado*

Ancho del rollo (m)	Perímetro circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)
1	2	0.32	0.64
1.25	2.5	0.4	0.8
1.5	3	0.48	0.96
1.75	3.5	0.56	1.12
2	4	0.64	1.28

*Nota.* Elaboración propia, tomado de Garcia et al. (2017), y Martí (2008)

Para determinar los parámetros geométricos, según el ancho de rollo del polietileno tubular, se realizó con las Ecuaciones (9), (10), (11), (12) y (13). En la Tabla 9, se muestran los resultados de cálculo teórico de la longitud del biodigestor, y relación óptima entre longitud y diámetro.

$$L_{cir} = 2 \times A_{rollo} \quad (9)$$

$$L_{cir} = 2 \pi r \quad (10)$$

$$S_{eficaz} = \pi r^2 \quad (11)$$

$$V_{T-react} = S_{eficaz} \times L \quad (12)$$

$$L = \frac{V_{T-react}}{S_{eficaz}} = \frac{V_{T-react}}{\pi \times r^2} \quad (13)$$

Donde:

$L_{cir}$  : Longitud de circunferencia de la manga de plástico

$A_{rollo}$  : Ancho del rollo

$r$  : Radio del reactor

$S_{eficaz}$  : Sección eficaz

$L$  : Longitud del reactor

$V_{T-react}$  : Volumen total del reactor

**Tabla 9**

*Resultados de cálculo longitud de biodigestor, y relación óptima entre longitud y diámetro*

Ancho del rollo (m)	Perímetro circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Longitud biodigestor (m)	L/d=[5-10] (óptimo 7)
1	2	0.32	0.64	<b>26.22</b>	<b>40.97</b>
1.25	2.5	0.4	0.8	<b>16.78</b>	<b>20.98</b>
1.5	3	0.48	0.96	<b>11.65</b>	<b>12.14</b>
1.75	3.5	0.56	1.12	<b>8.56</b>	<b>7.64</b>
2	4	0.64	1.28	<b>6.56</b>	<b>5.12</b>

*Nota.* Elaboración propia.

En base a los valores que se muestran en la Tabla 9, existen varias opciones de diseño para lograr el volumen requerido. Sin embargo, no se pueden imaginar todos los tipos de biodigestores, ya que no pueden ser demasiado largos ni demasiado cortos para facilitar el flujo de material orgánico desde la entrada del reactor hasta la salida de respuesta. Según Garcia et al. (2017) y Martí (2008), existe una relación óptima de 7 entre la longitud y el diámetro del reactor. Por lo tanto las dimensiones del biodigestor de polietileno para un volumen total del reactor ( $8.44 \text{ m}^3$ ), y seleccionando la relación L/d más cercana a la relación óptima, se tiene como resultado: Ancho del rollo: 1.75 m, radio: 0.56 m, longitud: 8.56 m, y relación L/d: 7.64.

#### 4.3.7 Resultados dimensiones de la zanja del biodigestor

Antes de iniciar la construcción del biodigestor, es importante completar el diseño de la zanja donde se ubicará el reactor de plástico tubular. En climas fríos, la zanja debe mirar hacia el oeste-este para su máxima utilización de radiación solar. No es una condición muy

importante en los trópicos y valles. La luz solar directa no juega un papel importante en el calentamiento del biodigestor pero es el suelo donde se ubica el biodigestor (Garcia et al., 2017). La longitud de la zanja está determinada por la longitud del biodigestor, cuya profundidad y anchura depende del ancho del rollo utilizados para construir el biodigestor (Martí, 2008). La zanja trapezoidal debe excavarse con una pared empinada como V. De hecho, esta forma representa una forma aproximada de la forma del biodigestor (Garcia et al., 2017). En general, las dimensiones disponibles para la zanja según ancho del rollo se muestran en la Tabla 10. Para el proyecto, de acuerdo al ancho del rollo las dimensiones se muestran en la Figura 7.

**Tabla 10**

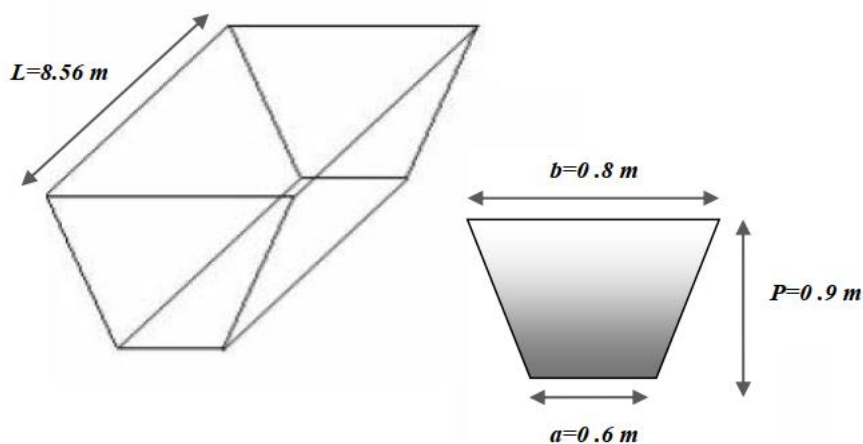
*Dimensiones de la zanja trapezoidal según el ancho de rollo*

Parámetros	Dimensiones				
$A_{rollo}$ (m)	2	1.75	1.5	1.25	1
a (m)	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
b (m)	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
P (m)	1	0.9	0.8	0.7	0.6

*Nota.* Elaboración propia, adaptado de Martí (2008)

**Figura 7**

*Geometría y dimensiones de la zanja trapezoidal*



*Nota.* Elaboración propia

#### 4.3.8 Resultados conversión electromecánica y generación de electricidad

##### a) Demanda de biogás para energía eléctrica

Conocida la demanda de energía eléctrica de la Institución Educativa el Porvenir, se realizó la estimación inicial de la cantidad de biogás que se necesita para producir la energía eléctrica necesaria.

El biogás es un gas combustible cuya composición depende fundamentalmente del tipo de sustrato utilizado y digerido en el proceso, y su alta concentración en metano, de elevada capacidad calorífica a 5.20 kcal/m<sup>3</sup> (Fandiño, 2018). Se considera que el biogás obtenido con restos orgánicos, tiene una riqueza media en metano del 65 %. Sabiendo la capacidad calorífica, se puede decir que 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale, aproximadamente a 6 kWh eléctricos (Freitas et al., 2019).

El parámetro  $\eta$  varía según la potencia plantas de generación. El valor de  $\eta$  se considera de 35 a 42 % y 25% en las centrales con gran sistema de turbinas y pequeños generadores, respectivamente (Madeira et al., 2019). Para la investigación se consideró  $\eta$  del motor generador 37% (Fandiño, 2018). Según resultados de la Ecuación (16), para generar 1 kWh se necesita 0.63 m<sup>3</sup> de biogás.

$$V_{bg-necesario} = \frac{1\text{kWh}}{6\text{kWh/m}^3 \times 65\% \times \eta} \quad (16)$$

$$V_{bg-necesario} = \frac{1\text{kWh}}{6\text{kWh/m}^3 \times 0.65 \times 0.37} = 0.693 \text{ m}^3$$

En la Tabla 11, se resume los metros cúbicos de biogás diarios para cubrir la demanda eléctrica de la Institución Educativa el Porvenir.

**Tabla 11**

*Resultados de cálculo del volumen de biogás necesario para la demanda eléctrica*

N°	Equipo	Consumo diario (kWh/día)	Biogás necesario (m <sup>3</sup> /día)
<b>1</b>	<b><i>Iluminación interiores</i></b>		
1.1	Foco ahorrador tipo LED, luz blanca	1.92	1.33
<b>2</b>	<b><i>Equipos electrónicos</i></b>		
2.1	Computadora portátil	1.00	0.69
2.2	Impresora	0.60	0.42
2.3	Teléfono -recarga	0.11	0.07
2.4	Tablets-recarga	0.80	0.55
2.5	Televisor a color	0.60	0.42
<b>Total</b>		<b>5.03</b>	<b>3.48</b>

*Nota.* Elaboración propia.

#### **b) Dimensionamiento del sistema de generación de electricidad**

El sistema de generación eléctrica es el componente más importante para la instalación del proyecto de generación de electricidad con aprovechamiento de la biomasa residual (estiércol de ganado). Los parámetros a utilizar en el diseño del grupo motor generador son: Poder calorífico del biogás (poder calorífico), eficiencia del motor generador, disponibilidad diaria de biogás y tiempo de uso de la planta de generación. Para las condiciones de diseño, la producción media de biogás es 4.82 m<sup>3</sup>/día, y la necesidad diaria de biogás para la cubrir la demanda eléctrica de 3.48 m<sup>3</sup>/día. Por lo tanto, conociendo el valor del Poder Calorífico Inferior (*PCI*) del biogás, y la cantidad diaria de biogás para la demanda, es posible determinar la Producción Teórico de Electricidad (*PTE*) [kWh /día], a través de la Ecuación (15). Para los cálculos se utilizó un *PCI* igual a 6 kWh/m<sup>3</sup> (Freitas et al., 2019). Como resultado se tiene que la Producción Teórico de Electricidad (*PTE*) es 20.89 kWh/día.

$$PTE = V_{bg-DE} \times PCI \quad (15)$$

$$PTE = 3.48 \times 6 = 20.89 \text{ kWh/día}$$

El *PCI* de biogás está directamente relacionado con su contenido de metano del biogás, e inversamente relacionado con el contenido de dióxido de carbono, es decir, a mayor concentración de dióxido de carbono, menor valor calórico. Por lo tanto, el proceso de producción de biogás debe tener condiciones favorables para una mayor producción de metano y una menor producción de dióxido de carbono, con el fin de incrementar su *PCI*. La Producción Real de Electricidad (*PRE*) se determina teniendo en cuenta la eficiencia de conversión global ( $\eta$ ) en las máquinas térmicas (grupo electrógeno, microturbina de gas, etc.) (Freitas et al., 2019).

Según Freitas et al. (2019), la Producción Real de Electricidad (*PRE*), y la Potencia Eléctrica (*PE*) de la planta de generación puede ser obtenido a través de las Ecuación (18), y (17). Para los cálculos se tomó  $\eta$  para el motor generador de 37 % (Fandiño, 2018).

$$PRE = \frac{PTE \times \eta}{100} \quad (16)$$

$$PRE = \frac{20.89 \times 37}{100} = 7.73 \text{ kWh/día}$$

$$PE = \frac{PRE}{HO \times \cos \phi} \quad (17)$$

$$PE = \frac{7.73}{5 \times 1} = 1.55 \text{ kVA}$$

Donde:

*PE* : Potencia Eléctrica de la planta de generación (kVA)

*HO* : Número de horas de operación del grupo electrógeno (horas)

$\cos \phi$  : Factor de potencia, que varía de 0.8 a 1.0

Así mismo los datos del sistema de generación eléctrica a biogás para la Institución Educativa el Porvenir se resumen en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Resultados de dimensionamiento del sistema de generación eléctrica.*

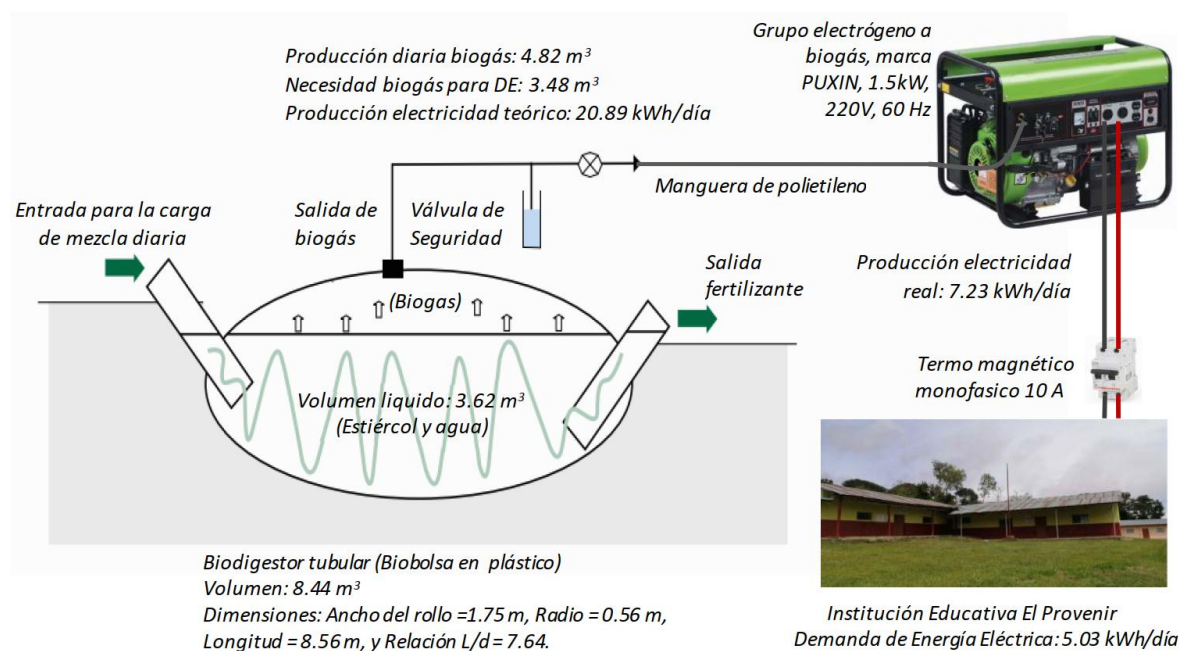
<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor calculado</b>
Producción diaria de biogás ( $V_{bg}$ )	m <sup>3</sup> /día	4.82
Necesidad diaria de biogás para demanda eléctrica ( $V_{bg-DE}$ )	m <sup>3</sup> /día	3.48
Poder calorífico inferior ( $PCI$ )	kWh/m <sup>3</sup>	6.00
Potencia teórica de producción de electricidad ( $PTE$ )	kWh/día	20.89
Eficiencia del motor generador ( $\eta$ )	%	37
Potencia real de producción de electricidad ( $PRE$ )	kWh/día	7.73
Número de horas de operación ( $HO$ )	horas	5
Factor de potencia	$\cos \phi$	1.00
Potencia eléctrica activa ( $PE$ )	kW	1.55
Potencia eléctrica aparente ( $PE$ )	kVA	1.55

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.3.9 Topología del sistema a biogás para generación de electricidad**

El esquema de la Figura 8, muestra la topología del sistema a biogás para generación de electricidad para la Institución Educativa el Porvenir.



**Figura 8***Topología del sistema a biogás para generación de electricidad*

*Nota.* Elaboración propia

#### 4.4 Resultados de evaluación económica de proyecto

Para evaluación económica, primeramente se determinó el presupuesto referencial del sistema a biogás para generación de electricidad y se realizó la evaluación respecto a un grupo electrógeno monofásico a gasolina de la misma potencia que del grupo electrógeno a biogás.

La evaluación económica con respecto a un escenario de la red eléctrica del concesionario no es posible, ya que a la fecha no se tiene redes de distribución de energía eléctrica en Baja Tensión (BT) cercana a la zona del proyecto.

##### 4.4.1 Inversión del sistema a biogás para generación de electricidad

El presupuesto para el sistema a biogás para generación de electricidad asciende a S/. S/. 11661.60. En la Tabla 13, se muestra el costo de inversión referencial para la construcción del sistema a biogás para generación de electricidad a la Institución Educativa el Porvenir.

**Tabla 13***Presupuesto sistema a biogás para generación de electricidad*

N°	Descripción de componentes	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Sub total (S/.)
<b>1</b>	<b>Suministro de materiales</b>				<b>7490.00</b>
1.1	Grupo electrógeno a biogás, marca PUXIN, 1.5kW, 220V, 60 Hz	Und.	1	2800.00	2800.00
1.2	Biodigestor tubular (Biobolsa en plástico). Dimensiones: Ancho del rollo: 1.75 m, Radio: 0.56 m, Longitud: 8.56 m, y Relación L/d: 7.64.	Und.	1	2300.00	2300.00
1.3	Accesorios para manejo del biogás (Filtro de sulfuros, Válvula de seguridad, Trampa de condensados, plástico negro para recubrimiento de fosa, flanche para conexión a la línea de biogás, cauchos para amarre de la biobolsa, válvula de corte para salida de biogás de la biobolsa)	Und.	1	1400.00	1400.00
1.4	Manguera de polietileno 3/4"x10 m	m	10	55.00	550.00
1.5	Tablero Eléctrico	Und.	1	120.00	120.00
1.6	Cable 14 AWG	m	15	4.00	60.00
1.7	Termo magnético monofásico de 10 A	Und.	1	120.00	120.00
1.8	Interruptor diferencial 10 A, corriente residual nominal 30 mA	Und.	1	140.00	140.00
<b>2</b>	<b>Montaje</b>				<b>2830.00</b>
2.1	Montaje del biodigestor tubular	Glb	1	1480.00	1480.00
2.2	Montaje grupo electrógeno a biogás	Glb	1	1200.00	1200.00
2.3	Construcción de zanja trapezoidal. Dimensiones: a=0.6 m, b=0.8m, p=0.9m, L=8.56 m.	Glb	1	150.00	150.00
<b>Total (CD)</b>					<b>S/. 10 320.00</b>
<b>Transporte de materiales</b>					<b>S/. 516.00</b>
<b>Gastos generales</b>					<b>S/. 825.60</b>
<b>Total</b>					<b>S/. 11 661.60</b>

Asimismo en la Tabla 14, se presentan los costos anuales de mantenimiento y operación para el sistema a biogás para generación de electricidad, que corresponde al mantenimiento biodigestor tubular, y mantenimiento grupo electrógeno a biogás.

**Tabla 14***Costos anuales mantenimiento y operación, sistema a biogás para generación de electricidad*

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Sub total (S/.)
1.1	Mantenimiento biodigestor tubular	Und.	1	350.00	350.00
1.2	Mantenimiento grupo electrógeno a biogás	Und.	1	300.00	300.00
<b>Total</b>					<b>S/. 650.00</b>

#### 4.4.2 Evaluación respecto a un grupo electrógeno a gasolina

Para este escenario la evaluación se hizo con respecto al precio del kWh, de un sistema eléctrico alimentado por un grupo electrógeno monofásico a gasolina de 1.5 kW. En la Tabla 15, se muestra la inversión para el sistema con grupo electrogeno monofasico a gasolina que asciende a S/. 4636.80.

**Tabla 15**

*Presupuesto sistema grupo electrógeno a gasolina*

N°	Descripción de componentes	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Sub total (S/.)
<b>1</b>	<b>Suministro</b>				<b>S/. 2940.00</b>
1.1	Grupo electrógeno a gasolina, marca CAG, Modelo TG1900, 1.5 kW, 220V, 60 Hz	Und	1	2500	2500
1.1	Tablero Eléctrico	Und	1	120	120
1.1	Cable 14 AWG	m	15	4	60
1.1	Termo magnético monofásico de 10 A	Und	1	120	120
1.1	Interruptor diferencial 10 A, corriente residual nominal 30 mA	Und	1	140	140
<b>2</b>	<b>Montaje</b>				<b>S/. 1200.00</b>
2.1	Montaje grupo electrógeno a gasolina	Glb	1	1200	1200
<b>Total (CD)</b>					<b>S/. 4140.0</b>
<b>Transporte de materiales</b>					<b>S/. 165.60</b>
<b>Gastos generales</b>					<b>S/. 331.20</b>
<b>Total</b>					<b>S/. 4636.80</b>

En la Tabla 16, se muestran los precios reportado por operadores de estaciones de servicio y grifos de Bagua Grande cerca de la zona de estudio (Caserío El Porvenir), y que están reportadas al OSINERGMIN. También en la Tabla 17, se muestran los costos calculados de energía para el grupo electrógeno monofásico a gasolina, tomando en cuenta la potencia, energía generada al año, precios de combustibles, y el consumo de combustible. Se ha determinado que la energía generada por el grupo electrógeno es de 2737.50 kWh/año para 5 horas de operación, y el precio del kWh del grupo electrógeno es de 2.52 S/./kWh.

**Tabla 16***Precios estaciones de servicio de Bagua Grande, septiembre 2021*

<b>Distrito</b>	<b>Establecimiento</b>	<b>Dirección</b>	<b>Precio de Venta (Soles/galón)</b>	<b>Fecha Actualización</b>
BAGUA GRANDE	CRESENCIO BARRIOS CORREA	Av. Chachapoyas N° 1030 (Sector Gonchillo)	15.2	04/09/2021
BAGUA GRANDE	LEAN INVERSIONES GENERALES E.I.R.L.	Av. Chachapoyas N° 4498 y Jr. Gregoria Katari, Sector San Luis	15.4	04/09/2021
BAGUA GRANDE	SERVICENTRO SANTA YSABEL S.A.C.	Km. 224 Carretera Belaunde Terry (ex carretera marginal km. 224)	15.4	31/08/2021
BAGUA GRANDE	GRIFOS SAN MARTIN S.A.C.	Av. Chachapoyas N° 3140 Sector La Esperanza	15.45	05/09/2021
BAGUA GRANDE	ESTACION DE SERVICIO UTCUBAMBA E.I.R.L.	Av. Chachapoyas N° 3510 - La Esperanza	15.49	04/09/2021
BAGUA GRANDE	GASOLINERA CARIÑITO S.C.R.L.	Av. Chachapoyas N° 1598	15.49	04/09/2021
BAGUA GRANDE	ESTACION SERVICIOS SAN LUIS E.I.R.L.	Av. Chachapoyas Mz S1 Lote 8 Sector San Luis	15.55	05/09/2021
BAGUA GRANDE	ESTACION DE SERVICIOS PICORITO E.I.R.L.	Av. Chachapoyas Lotes 4-6 Mz. E25 - Sector La Esperanza	15.59	03/09/2021
BAGUA GRANDE	ESTACION DE SERVICIOS UTCUBAMBA II S.R.L.	Carretera Fernando Belaunde Terry km. 231+451 predio sector rieguillo	15.59	04/09/2021
BAGUA GRANDE	SHILCAYO GRIFO AMAZONAS S.R.L.	Carretera Fernando Belaunde Terry km. 225 + 800 Valle Gonchillo	15.6	04/09/2021
BAGUA GRANDE	ESTACION DE SERVICIOS JR	Caserío Versalla km. 231 Carretera Olmos - Corral Quemado	15.8	02/09/2021
BAGUA GRANDE	DORELIS LEYVA GUEVARA	Carretera Marginal de la Selva km 226 + 536 - Sector Morerilla	16.31	31/08/2021
BAGUA GRANDE	OSCAR OLIVERA REQUEJO	Esquina Jr. Lima 739 y la salida a Cajaruro Lote 4 Mz. E 11 Sector La Esperanza	16.49	02/09/2021
<b>Precio promedio (Soles /galón)</b>			<b>15.64</b>	

*Nota. OSINERGMIN (2021)***Tabla 17***Costos calculados de energía grupo electrógeno a gasolina, septiembre 2021*

<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
1.1	Potencia grupo electrógeno a gasolina	kW	1.50
1.2	Energía generada	kWh/año	2737.50
1.3	Precio actual del galón de combustible	S./galón	15.64
1.4	Precio actual del litro de combustible	S./lt	4.10

1.5	Consumo de combustible	lt/h	0.92
1.6	Consumo por energía generada	lt/kWh	0.62
1.7	Precio final del kWh (grupo electrógeno)	S/./kWh	2.52

La Tabla 18, muestran los costos de mantenimiento y operación para el sistema con grupo electrógeno monofásica a gasolina, que corresponde al mantenimiento del grupo electrógeno a gasolina, y los costos de combustible (gasolina 90 octanos). Considerando las mismas horas de operación funcionamiento del generador a biogás (5 h/día), y el consumo de combustible a plena carga (0.92 lt/h), se determinó que se necesita 1662 litros de combustible al año.

**Tabla 18**

*Costos de mantenimiento y operación del grupo electrógeno a gasolina*

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Sub total (S/.)
1.2	Mantenimiento grupo electrógeno a gasolina	Und	1	300.00	300.00
1.3	Combustible gasolina 90 octanos	lt/año	1662	4.10	6816.73
<b>Total</b>					<b>S/. 7116.73</b>

En la evaluación económica con respecto al escenario de un sistema con grupo electrógeno monofásica a gasolina, se consideró un incremento del precio de la energía anual del 1 %, y la producción de energía del grupo electrógeno a gasolina es de 2737.50 kWh/año. Por otra parte la producción de energía del grupo electrógeno a biogás es 2783.07 kWh/año, el cargo por mantenimiento y operación del grupo electrógeno a biogás es S/. 650.00, no se ha considerado ninguna reinversión durante los años de evaluación. Por otra parte la Agencia Internacional de Energía (IEA) asume descuentos entre 10 % - 12 % para sistemas con energías renovables (Hernández y Martínez, 2013). Se analizó tomando un interés para el VAN del 12 %, y la vida útil 20 años. En la Tabla 19, se muestran los resultados de la evaluación económica con respecto a un sistema con grupo electrógeno monofásica a gasolina.

Tabla 19

*Resultados de evaluación económica con respecto a un sistema con grupo electrógeno a gasolina*

Año	Energía			Resultados					Año de repago
	Inversión (S/.)	Producción Energía (kWh)	Precio final grupo electrógeno a gasolina (S./kWh)	Ingresos (Ahorro esperado ) (S/.)	Pagos (S/.)	Flujo Neto Caja (S/.)	FNC Actualizado (Cálculo del VAN) (S/.)	Flujo Neto Caja Acumulado (S/.)	
0	11661.60					-11661.60	-11661.60	-11661.60	
1		2737.50	2.52	6911.41	650.00	6261.41	5590.54	-6071.06	
2		2737.50	2.55	6980.52	650.00	6330.52	5046.65	-1024.41	2.29
3		2737.50	2.58	7050.32	650.00	6400.32	4555.62	3531.22	
4		2737.50	2.60	7120.83	650.00	6470.83	4112.33	7643.55	
5		2737.50	2.63	7192.04	650.00	6542.04	3712.13	11355.67	
6		2737.50	2.65	7263.96	650.00	6613.96	3350.84	14706.51	
7		2737.50	2.68	7336.60	650.00	6686.60	3024.68	17731.19	
8		2737.50	2.71	7409.96	650.00	6759.96	2730.24	20461.42	
9		2737.50	2.73	7484.06	650.00	6834.06	2464.43	22925.85	
10		2737.50	2.76	7558.90	650.00	6908.90	2224.48	25150.33	
11		2737.50	2.79	7634.49	650.00	6984.49	2007.87	27158.21	
12		2737.50	2.82	7710.84	650.00	7060.84	1812.34	28970.55	
13		2737.50	2.84	7787.94	650.00	7137.94	1635.83	30606.38	
14		2737.50	2.87	7865.82	650.00	7215.82	1476.50	32082.88	
15		2737.50	2.90	7944.48	650.00	7294.48	1332.67	33415.56	
16		2737.50	2.93	8023.93	650.00	7373.93	1202.85	34618.40	
17		2737.50	2.96	8104.17	650.00	7454.17	1085.66	35704.06	
18		2737.50	2.99	8185.21	650.00	7535.21	979.88	36683.94	
19		2737.50	3.02	8267.06	650.00	7617.06	884.39	37568.33	
20		2737.50	3.05	8349.73	650.00	7699.73	798.21	38366.54	
				<b>TIR (%)</b>		<b>54.78%</b>		<b>S/. 38,366.54</b>	
				<b>Año de repago</b>		<b>2.29</b>			
				<b>Interés para VAN</b>		<b>12%</b>			
				<b>VAN</b>		<b>S/. 38,366.54</b>			

## V Discusión

El consumo de electricidad de la Institución Educativa 16599 El Porvenir es de 5.03 kWh/día, para una demanda eléctrica de 1.129 kW, que corresponde a cargas de alumbrado, y carga de equipos electrónicos, dicha demanda eléctrica será cubierta por un sistema a biogás de generación de electricidad. Metodología que concuerda con Collasos y Vargas (2019) que también determinaron la demanda máxima de electricidad para el camal municipal de Jaén igual a 2.7 kW. La demanda eléctrica de este estudio es mucho mayor, debido a que las cargas eléctricas son de mayor potencia que de una Institución Educativa rural.

La cantidad de estiércol de ganado vacuno en el caserío El Porvenir como materia prima cercana a la zona del proyecto es de 241 Kg/día. Para el estudio se consideró 19 animales vacunos, de los cuales 15 vacas grandes y 4 terneros no estabulados. La cantidad de estiércol disponible depende del manejo del ganado en la zona. Para el ganado estabulado, la cantidad total de estiércol a aprovechar es del 100%, y para el ganado estabulado de noche, solo se utilizó el 25% del estiércol. Para el proyecto, tomando el 25%, la cantidad total de excretas es de 60.25 kg/día, suficiente para cubrir la demanda eléctrica de la Institución Educativa. Resultados que guardan relación con Giler y Cedeño (2020), que para el diseño de un biodigestor de estiércol de bovino para transformación de biogás en energía eléctrica en Ecuador mediante la descripción del método descriptivo-experimental, tomó la muestra de estiércol de 6 vacas durante 5 días consecutivos obteniendo un promedio de 7.5 Kg por día. También Lansing et al. (2008) cuantificó la generación de electricidad y las transformaciones de desechos en un sistema de digestión anaeróbica en Costa Rica, utilizando estiércol de 5 vacas lecheras y 40 cerdos que permanecen en los corrales el 100% del tiempo. La producción de estiércol de ganado vacuno mucho depende del manejo del ganado si es estabulado o no estabulado.

Dentro del dimensionamiento se consideró una relación de excreta agua de 1:1, resultó que el volumen de biomasa en el biodigestor es 3.62 m<sup>3</sup>, y el volumen de biogás es de 4.82 m<sup>3</sup>, este valor es el volumen de biogás que se producirá en el reactor cada día. Se seleccionó un biodigestor tubular (Biobolsa en plástico) de 8.44 m<sup>3</sup>, ancho del rollo 1.75 m, radio 0.56 m, longitud 8.56 m, y relación L/d 7.64. La producción electricidad teórico es 20.89 kWh/día. Se seleccionó un grupo electrógeno a biogás, marca PUXIN, 1.5kW, 220V, 60 Hz, que la producción electricidad llega a 7.23 kWh/día, suficiente para cubrir la demanda de energía

eléctrica de la Institución Educativa El Provenir (5.03 kWh/día). Concuerda con Ruiz (2020) que diseñó un digestor para generar energía a partir de estiércol de ganado en una casa rural en CC.PP La cantera de la zona de Pátapo-Chiclayo, considera una tecnología constructiva simple, selecciona una Biobolsa son 1.25 m de diámetro, 4 m de longitud y un volumen total de 4.90 m<sup>3</sup>, el volumen de almacenamiento de biogás es de 1.60 m<sup>3</sup>, para la construcción dimensionó una fosa de 4 m de largo, 1 m de profundidad y 1.2 m de ancho de terreno. También guarda relación con Obileke et al. (2020), que diseñaron y fabricaron un biodigestor de plástico para la producción de biogás a partir de estiércol de vaca. La variación de resultados se debe a que la cantidad de estiércol, y la demanda eléctrica a cubrir son diferentes. Los resultados también varían de acuerdo a criterios de diseño como es la relación de excreta-agua.

La evaluación económica respecto a un sistema de generación a gasolina monofásico, resultó un VAN de S/. 38 366.54 positivo y un TIR 54.78%, con un tiempo de recuperación a corto y mediano plazo de 2.29 años. La producción de energía del grupo electrógeno a gasolina es de 2737.50 kWh/año, y la producción de energía del grupo electrógeno a biogás es 2783.07 kWh/año, un poco mayor al grupo electrógeno a gasolina. El cargo por mantenimiento y operación del grupo electrógeno a biogás es S/. 650.00. Se analizó tomando un interés para el VAN de 12 %, y la vida útil 20 años, no se consideró costos de reinversión durante el periodo de evaluación. Resultados guardan relación con Collasos y Vargas (2019) que dentro de la evaluación económica en su proyecto muestra un TIR de 47 %, el VAN de S/. 244674.3, y un tiempo de retorno de 3 años. Los costos de inversión varían, debido al tamaño y capacidad de la planta a biogás, por otra parte la evaluación económica también varía de acuerdo a que escenario se quiere evaluar (red eléctrica, grupo electrógeno diésel o gasolina, etc.).



## Conclusiones

- Se determinó que el consumo de electricidad de la Institución Educativa 16599 El Porvenir es de 5.03 kWh/día, para una demanda eléctrica de 1.129 kW, que corresponde a cargas de alumbrado interior, y carga de equipos electrónicos.
- Se determinó que la cantidad de estiércol de ganado vacuno en el caserío El Porvenir como materia prima es igual a 241 kg/día. La cantidad de estiércol disponible depende del manejo del ganado en la zona. Para el ganado estabulado, la cantidad total de estiércol a aprovechar es del 100%, y para el ganado estabulado de noche, solo se utilizó el 25% del estiércol. Tomando el 25%, la cantidad total de excretas es de 60.25 kg/día, suficiente para cubrir la demanda eléctrica de la Institución Educativa.
- Se dimensionó el biodigestor para generación de electricidad a partir de estiércol de ganado vacuno. Para una relación de excreta agua de 1:1, resultó que el volumen de biomasa en el biodigestor es 3.62 m<sup>3</sup>, y el volumen de biogás es de 4.82 m<sup>3</sup>, este valor es el volumen de biogás que se producirá en el reactor cada día. Se seleccionó un biodigestor tubular (Biobolsa en plástico), V: 8.44 m<sup>3</sup>, ancho del rollo: 1.75 m, radio: 0.56 m, longitud: 8.56 m, y relación L/d: 7.64. La producción electricidad teórico es 20.89 kWh/día. Se seleccionó un grupo electrógeno a biogás, marca PUXIN, 1.5 kW, 220V, 60 Hz, que la producción electricidad llega a 7.23 kWh/día, suficiente para cubrir la demanda de energía eléctrica de la Institución Educativa El Provenir (5.03 kWh/día).
- La evaluación económica del proyecto resulto rentable respecto a un grupo electrógeno a gasolina, resultó un VAN de S/. 38366.54 positivo y un TIR 54.78%, con un tiempo de recuperación a corto y mediano plazo de 2.29 años. En la evaluación económica se consideró un incremento del precio de la energía anual del 1 %. La producción de energía del grupo electrógeno a gasolina es de 2737.50 kWh/año, y la producción de energía del grupo electrógeno a biogás es 2783.07 kWh/año, un poco mayor al grupo electrógeno a gasolina. El cargo por mantenimiento y operación del grupo electrógeno a biogás es S/. 650.00. Se analizó tomando un interés para el VAN de 12 %, y la vida útil 20 años, no se consideró costos de reinversión durante el periodo de evaluación.

## Recomendaciones

- Se recomienda a la Institución Educativa El Porvenir, buscar el financiamiento en algunas convocatorias para financiamiento de proyectos de investigación en energías renovables. Así mismo se recomienda hacer de conocimiento al Gobierno Regional de Amazonas para la implementación de proyectos de sistemas a biogás para generación de electricidad en zonas que no se cuenta con energía eléctrica, y también con aplicaciones en la agricultura, donde se presenten condiciones similares de materia prima (biomasa) y potencia requerida, favoreciendo de esta manera a las Instituciones Educativas rurales, y a pequeños agricultores a mejorar su calidad de vida.
- Como problemas abiertos, se recomienda hacer la evaluación económica respecto a otros escenarios, red eléctrica del concesionario, sistema fotovoltaico, sistema eólico, y así fundamentar la viabilidad del proyecto.

### Referencias bibliográficas

- Arivilca, R., y Orbegozo, C. (2010). *Energía de la Biomasa. Manual técnico Manual técnico*.
- Chacón, A. (2017). Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. En *Cubasolar*.
- Collasos, D., y Vargas, L. E. (2019). *Diseño de un sistema de biodigestores para el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos del camal municipal de Jaén – Perú* [Universidad Nacional de Jaén].  
[http://repositorio.unj.edu.pe/jspui/bitstream/UNJ/224/1/Collasos\\_CD\\_Vargas\\_PLE.pdf](http://repositorio.unj.edu.pe/jspui/bitstream/UNJ/224/1/Collasos_CD_Vargas_PLE.pdf)
- Fandiño, M. (2018). *Estudio de viabilidad tecnico-economica para sistema de trigeneración a partir de biogás en explotación ganadera*. [Universidade da Coruña].  
[https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/24322/FandinoSanchez\\_TFG\\_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/24322/FandinoSanchez_TFG_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Freitas, F. F., De Souza, S. S., Ferreira, L. R. A., Otto, R. B., Alessio, F. J., De Souza, S. N. M., Venturini, O. J., y Ando Junior, O. H. (2019). The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101(October 2018), 146-157.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.007>
- García, R., Alamo, V., y Marcelo, D. (2017). Diseño de un biodigestor tubular para zonas rurales de la Región Piura. *XXIV Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXIV- SPES), Huaraz, 13 -17.11.2017 DISEÑO*, 13-17. [http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Garcia-Rafael\\_biodigestor.pdf](http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Garcia-Rafael_biodigestor.pdf)
- García, V., y Sanchez, A. (2014). Evaluación de la prefactibilidad de un sistema de generación eléctrica a partir de biogás con estiércol de ganado vacuno o porcino en Cundinamarca. *Tekhnê*, 11(2), 37-50.
- Giler, J., y Cedeño, C. (2020). Elaboration of bovine manure biodigester for biogas transformation to electric power. ... *research journal of management, IT and social ...*, 7(5), 32-37. <https://sloap.org/journals/index.php/irjmis/article/view/967>
- Hernández, J., y Martínez, J. M. (2013). Analytical model for solar PV and CSP electricity costs: Present LCOE values and their future evolution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 119-132. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.082>
- Hernandez, M. S. (2018). *Trabajo de Biomasa. Principales tipos de calderas y Cuestiones prácticas de una central*. October. <https://www.researchgate.net/publication/328410945>

- Lansing, S., Viquez, J., Martínez, H., Botero, R., y Martin, J. (2008). Quantifying electricity generation and waste transformations in a low-cost, plug-flow anaerobic digestion system. *Ecological Engineering*, 34(4), 332-348. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.09.002>
- Madeira, J. G. F., Oliveira, E. M. de, Guimarães, V. de A., Araújo, V. O. de, Springer, M. V., Cabral, H. L., Melgaço, H. da S., Chaves, Y. A. de O., y Neto, A. R. F. (2019). Electricity Generation from Biogas of Cassava using Cattle Manure as inoculum: An Assessment of Potential in the Quilombola Community (Brazil). *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 6(6), 200-205. <https://doi.org/10.22161/ijaers.6.6.21>
- Mago, M. ., Sosa, J., Flores, B., y Tovar, L. (2014). Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor Proposed design of a biogas plant for the generation of electric power in Venezuela in animal areas thro. *Ingeniería Uc*, 21(2), 60-65.
- Manyi-Loh, C. E., Mamphweli, S. N., Meyer, E. L., Okoh, A. I., Makaka, G., y Simon, M. (2013). Microbial anaerobic digestion (bio-digesters) as an approach to the decontamination of animal wastes in pollution control and the generation of renewable energy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(9), 4390-4417. <https://doi.org/10.3390/ijerph10094390>
- Martí, J. (2008). *Biodigestores Familiares. Guía de Diseño y Manual de Instalación* (Vol. 66). GTZ-Energía. Bolivia.
- Mullo, A. S., Sanchez, W. E., Salazar, F. W., Chacha, J. M., y Flores, A. (2018). Implementation of a cattle manure biodigester for the production of gas for single family use. *E3S Web of Conferences*, 57, 1-7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185701003>
- Obileke, K., Mamphweli, S., Meyer, E. L., Makaka, G., y Nwokolo, N. (2020). Design and Fabrication of a Plastic Biogas Digester for the Production of Biogas from Cow Dung. *Journal of Engineering*, 2020, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2020/1848714>
- Oliveira, M. O., Somariva, R., Ando Junior, O. H., Neto, J. M., Bretas, A. S., Perrone, O. E., y Reversat, J. H. (2012). Biomass electricity generation using industry poultry waste. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(10), 1650-1654. <https://doi.org/10.24084/repqj10.791>
- Ruiz, B. (2020). *Diseño de un biodigestor para generación de energía a partir del estiércol de ganado vacuno para una vivienda rural en el CC.PP. Las canteras del distrito de Pátapo - Chiclayo - Lambayeque* [Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/2498>

- Singh, O. V., y Chandel, A. K. (2018). Sustainable biotechnology-enzymatic resources of renewable energy. En *Sustainable Biotechnology- Enzymatic Resources of Renewable Energy*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-95480-6>
- Wresta, A., Andriani, D., Saepudin, A., y Sudiby, H. (2015). Economic analysis of cow manure biogas as energy source for electricity power generation in small scale ranch. *Energy Procedia*, 68, 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.240>

## **Anexos**

## Anexo 01

### Ficha técnica grupo electrógeno a biogás

#### Descripción general

##### Detalles rápidos

Lugar del origen:	Guangdong, China	Marca:	PUXIN
Número de Modelo:	1.5KW/3KW/5KW	Voltaje nominal:	12 V 12 V
Corriente nominal:	8.3A	Frecuencia:	50Hz
Output Type:	DC/AC	Frequency:	50HZ/60HZ
Generator Type:	Single-phase Brush Motor	Suitable gas:	Biogas ONLY
Engine Type:	CC168F	Gas consumption:	1.4 m3/h
Bore X Stroke:	68 x 45mm	life span:	more than 10 years
cost:	economical	description:	1.5kw small biogas generator

#### TECHNICAL PARAMETERS

### 1.5kw 3kw 5kw generador de gas metano de pequeña potencia para generación de electricidad

Modelo	1.5kw	3kw	5kw
Potencia nominal	1500 W	3000 W	4500 W
Max	1800 W	3500 W	5000 W
Aceite de motor de capacidad	Añadir 0.6L antes de usar	Añadir 1.1L antes de usar	Añadir 1.1L antes de usar
El consumo de Gas	1.05m3/h	2.1m3/h	0.7m3/h
Salida DC	12 V 8.3A	12 V 8.3A	/
Ruido (distancia de 7 m)	60dB	60dB	70dB
Adecuado de gas	Biogás/metano sólo		
Tipo de generador	Bruss, generador de cobre, cilindro único, 4 tiempos, refrigerado por aire		
Seguir el tiempo de trabajo	4 horas y descanso al menos 30 minutos		
El biogás se	No menos del 65% de metano (CH4)		
Presión de Gas	2kpa-6kpa		
Voltaje	110 V/220 V (380 V personalizar)		
Frecuencia	50 HZ/60 HZ		
Método de arranque	Arranque eléctrico		



## Anexo 02

### Ficha técnica grupo electrógeno a gasolina

Los datos De CAG Generador Gasolina	
El modelo	TG1500.
Tipo	Sin escobillas
Regular la tensión	Condensador
Frecuencia Hz	50   60
Calificaron el voltaje de CA (V).	230V 120V
AC salida nominal (KVA)	1.0   1.2
El pico salida AC (KVA)	1.5 1.1
Factor de potencia COSφ	1
El modelo	TE90
Tipo	OHV, 4 tiempos, solo cilindro, refrigerado por aire
Diámetro x carrera (mm)	54×38, 5
El desplazamiento (ml).	87
Máx. De salida (HP/rpm).	2.6/3600
Tipo de combustible	La gasolina sin plomo
La capacidad del tanque de combustible (L)	6L
1/2 de funcionamiento continuo de la carga (h)	13
Estándar de aceite del motor	SF grado o superior
Capacidad de aceite (L/gal).	0.4/0.11
El sistema de encendido	C. D. I
El sistema de arranque	Recoil
El nivel de ruido de funcionamiento (7m) dB(A)	63
Las dimensiones L x W x H (mm)	480x375x390
Net /Peso (kg)	25/26
La unidad de 20/40FT	432 / 888





Anexo 03

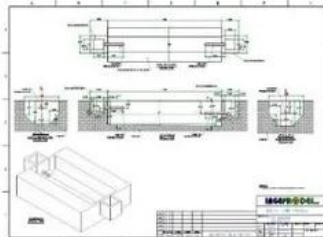
Kit biodigestor tubular (Biobolsa en plástico)

# BIO-BOX

## kit biodigestor



1. Plastico



2. Plano civil



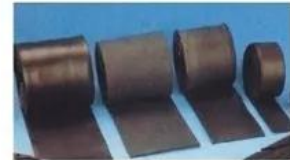
3. Filtro sulfuros



4. Valvula de seguridad



5. Trampa de condensados



6. Tiras de caucho



7. Guia de amarre y manual



Incluye asesoría virtual