



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**Diseño de un biodigestor para la diversificación energética en la planta Exibal  
CIA. LTDA.**

**Trabajo de Titulación para optar al título Ingeniero ambiental**

**Autor:**

Quinatoa Acosta Anderson Celin

Valencia Cortes Asly Michel

**Tutor:**

MgSc. Lenin Santiago Orozco Cantos

**Riobamba, Ecuador. 2026**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Anderson Celin Quinatoa Acosta y Asly Michel Valencia Cortes**, con cédula de ciudadanía, **1851074797 y 1759389420** autores del trabajo de investigación titulado: **Diseño de un biodigestor para la diversificación energética en la planta Exibal CIA. LTDA**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a los 21 días del mes de noviembre de 2025



Anderson Celin Quinatoa Acosta

C.I: 1851074797



Asly Michel Valencia Cortes

C.I: 1759389420

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Lenin Santiago Orozco Cantos catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **“Diseño de un biodigestor para la diversificación energética en la planta Exibal CIA. LTDA”**, bajo la autoría de Anderson Celin Quinatoa Acosta y Asly Michel Valencia Cortes; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 21 días del mes de noviembre de 2025



Firmado electrónicamente por:  
**LENIN SANTIAGO  
OROZCO CANTOS**

Validar únicamente con FirmaBC

---

Lenin Santiago Orozco Cantos

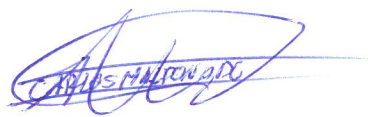
C.I: 060376103-2

## **CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL**

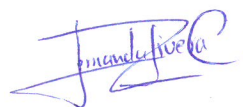
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “Diseño de un biodigestor para la diversificación energética en la planta Exibal CIA. LTDA”, presentado por Anderson Celin Quinatoa Acosta y Asly Michel Valencia Cortes, con cédula de identidad número 1851074797 y 1759389420, bajo la tutoría de Mgs. Lenin Santiago Orozco Cantos certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de sus autores; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 18 días de diciembre de 2025.

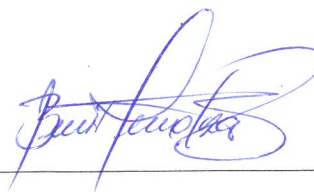
Carlos Maldonado, Mgs.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Fernanda Rivera, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Benito Mendoza, PhD.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**





## CERTIFICACIÓN

Que, **QUINATOACOSTA ANDERSON CELIN** con CC: **1851074797**, y **VALENCIA CORTES ASLY MICHEL** con CC: **1759389420**, estudiantes de la Carrera de **Ingeniería Ambiental**, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“Diseño de un biodigestor para la diversificación energética en la planta Exibal CIA. LTDA.”**, cumple con el 3 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 16 de diciembre de 2025



Firmado electrónicamente por:  
**LENIN SANTIAGO  
OROZCO CANTOS**

Validar únicamente con FirmaAC

---

Mgs. Lenin Santiago Orozco Cantos  
**TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

## DEDICATORIA

Dedico este logro a mi familia, que ha sido el faro constante en cada noche de duda y el impulso silencioso detrás de cada paso. A mi madre y hermano, por enseñarme con su ejemplo el valor de berraquera y sacrificio, por su apoyo incondicional a pesar de la distancia; y a quienes, desde donde estén, me acompañan con su amor eterno. También me lo dedico a mí, por no rendirme cuando el camino se volvió cuesta arriba, por seguir creyendo incluso cuando todo parecía incierto.

*Asly Michel Valencia Cortes*

A mis adorados padres Ángel y Alexandra, quienes me apoyaron incondicionalmente en todo momento de mi vida universitaria, han sido y serán mi ejemplo para seguir por ser las personas trabajadoras que son y por siempre estar para mí cuando más los necesite.

*Anderson Quinatoa*

## AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a quienes caminaron conmigo en este proceso, no solo académico, sino personal. A mi tutor, por su paciencia, guía y confianza. A los docentes que, con pasión y compromiso, dejaron huella en mi forma de pensar y ser. Gracias a mis amigos, que supieron sostenerme con una palabra oportuna, una risa compartida o un silencio lleno de compañía. A todas las personas que creyeron en mí incluso en los días en que yo dudaba: gracias. Este trabajo no es solo mío, es también de ustedes. Finalmente, gracias a la vida por permitirme aprender, crecer y soñar.

*Asly Michel Valencia Cortes*

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que me han apoyado durante la elaboración de esta tesis. En especial, quiero agradecer a mi mamá, Alexandra Acosta, y a mi papá Ángel Quinatoa, por ser mi fuerza y mi motivación en todo momento.

A mi mamá, por su amor incondicional, su apoyo constante y su fe en mí. Gracias por ser mi roca y mi guía en los momentos más difíciles. Tu ejemplo de perseverancia y dedicación son una inspiración para mí y siempre estaré agradecida por todo lo que has hecho por mí.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, el Ing. Lenin Orozco Cantos, por su guía y su experiencia en el campo de la investigación. Gracias por compartir sus conocimientos conmigo, por sus comentarios y sugerencias constructivas y por haberme motivado a alcanzar mis objetivos académicos.

*Anderson Quinatoa*

## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ECUACIONES

RESUMEN

ABSTRACT

### **CAPÍTULO I. INTRODUCCION..... 17**

1.1 Problema de investigación ..... 17

1.2 Justificación ..... 18

1.3 Objetivos ..... 19

1.3.1 General..... 19

1.3.2 Específicos ..... 19

### **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO..... 20**

2.1 Definición de Energía alternativa ..... 20

2.2 Importancia de las energías alternativas en la industria..... 20

2.3 Tipos de energías alternativas ..... 20

2.4 Beneficios de las energías alternativas en la industria ..... 21

2.5 Beneficios de la energía de la Biomasa en la industria..... 21

2.6 Biodigestores..... 21

2.6.1 Clasificación de los Biodigestores ..... 22

2.6.2 Tipos de biodigestores ..... 24

2.6.3 Componentes principales del biodigestor ..... 27



|                                        |                                                                                                                     |           |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.6.4                                  | Funcionamiento de un biodigestor anaerobio .....                                                                    | 30        |
| 2.6.5                                  | Beneficios del uso de biodigestores en procesos industriales.....                                                   | 31        |
| 2.7                                    | Tipo de materia prima.....                                                                                          | 31        |
| 2.7.1                                  | Niveles de solidos totales y solidos volátiles .....                                                                | 31        |
| 2.7.2                                  | Estiércol .....                                                                                                     | 32        |
| 2.7.3                                  | Biomasa .....                                                                                                       | 33        |
| 2.8                                    | Factores influyentes en la degradación anaerobia.....                                                               | 33        |
| 2.8.1                                  | Temperatura .....                                                                                                   | 33        |
| 2.8.2                                  | pH .....                                                                                                            | 33        |
| 2.8.3                                  | Nutrientes.....                                                                                                     | 34        |
| 2.8.4                                  | Tiempo de retención hidráulica (TRH).....                                                                           | 34        |
| 2.8.5                                  | Agitación.....                                                                                                      | 35        |
| 2.9                                    | Autoproducción energética .....                                                                                     | 35        |
| 2.10                                   | Equipos necesarios para la operación y mantenimiento.....                                                           | 35        |
| <b>CAPÍTULO III. METODOLOGIA. ....</b> |                                                                                                                     | <b>38</b> |
| 3.1                                    | Tipo de investigación .....                                                                                         | 38        |
| 3.2                                    | Diseño de Investigación .....                                                                                       | 38        |
| 3.3                                    | Métodos de análisis, y procesamiento de datos .....                                                                 | 38        |
| 3.4                                    | Área de estudio .....                                                                                               | 38        |
| 3.5                                    | Identificación de las fuentes de energía alternativa que la planta pueda disponer para su viabilidad inmediata..... | 39        |
| 3.5.1                                  | Recopilación de Datos Primarios:.....                                                                               | 40        |
| 3.5.2                                  | Recopilación de Datos Secundarios:.....                                                                             | 40        |
| 3.5.3                                  | Análisis de Viabilidad Técnica .....                                                                                | 40        |
| 3.5.4                                  | Análisis comparativo .....                                                                                          | 41        |
| 3.5.5                                  | Selección de la fuente viable .....                                                                                 | 41        |
| 3.5.6                                  | Justificación de la selección.....                                                                                  | 41        |

|        |                                                                                                                                                |    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.6    | Determinar los requerimientos energéticos de la planta que puedan ser abastecidos mediante energía térmica proveniente de fuentes propias..... | 41 |
| 3.6.1  | Revisión documental interna .....                                                                                                              | 41 |
| 3.6.2  | Visitas técnicas a la planta: .....                                                                                                            | 41 |
| 3.6.3  | Entrevistas y encuestas a personal clave.....                                                                                                  | 41 |
| 3.6.4  | Análisis de datos energéticos: .....                                                                                                           | 42 |
| 3.6.5  | Evaluación del potencial de cobertura .....                                                                                                    | 42 |
| 3.7    | Diseño de un biodigestor para la producción de biogás de manera sostenible .....                                                               | 42 |
| 3.7.1  | Identificación de la fuente.....                                                                                                               | 42 |
| 3.7.2  | Estimación de la producción diaria de estiércol por Animal. ....                                                                               | 43 |
| 3.7.3  | Especificación técnica.....                                                                                                                    | 43 |
| 3.7.4  | Diseño conceptual del biodigestor: .....                                                                                                       | 44 |
| 3.7.5  | Cálculos de dimensionamiento: .....                                                                                                            | 44 |
| 3.7.6  | Consideraciones de Sostenibilidad:.....                                                                                                        | 44 |
| 3.7.7  | Identificación la demanda energética de la Planta .....                                                                                        | 44 |
| 3.7.8  | Verificación de oferta y demanda energética de la planta .....                                                                                 | 46 |
| 3.7.9  | Cálculo del Potencial de Biogás: .....                                                                                                         | 46 |
| 3.7.10 | Análisis de la Verificación:.....                                                                                                              | 47 |
| 3.8    | Prototipo de laboratorio .....                                                                                                                 | 47 |
| 3.8.1  | Materiales.....                                                                                                                                | 47 |
| 3.8.2  | Método .....                                                                                                                                   | 48 |
| 3.9    | Cuantificación de las muestras.....                                                                                                            | 48 |
| 3.9.1  | Materiales.....                                                                                                                                | 48 |
| 3.9.2  | Método .....                                                                                                                                   | 49 |
| 3.10   | Volumen de biogás .....                                                                                                                        | 49 |
| 3.10.1 | Materiales.....                                                                                                                                | 49 |
| 3.10.2 | Método .....                                                                                                                                   | 49 |

|                                                                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>                                                                                               | <b>50</b> |
| 4.1 Identificar y seleccionar las fuentes de energía alternativa que la planta dispone para su viabilidad inmediata. ....                     | 50        |
| 4.1.1 Discusión de resultados.....                                                                                                            | 52        |
| 4.2 Determinar las demandas energéticas de la planta que puedan ser abastecidos mediante energía térmica proveniente de fuentes propias ..... | 55        |
| 4.2.1 Requerimiento energético de la planta EXIBAL CIA. LTDA. ....                                                                            | 55        |
| 4.2.2 Discusión de resultados.....                                                                                                            | 56        |
| 4.3 Diseñar un biodigestor para la producción de biogás de manera sostenible.....                                                             | 58        |
| 4.3.1 Cálculo del volumen .....                                                                                                               | 58        |
| 4.3.2 Cálculo de las dimensiones del biodigestor .....                                                                                        | 59        |
| 4.3.3 Cálculo de solidos totales (ST) y solidos volátiles (SV).....                                                                           | 60        |
| 4.3.4 Cálculo del volumen de biogás.....                                                                                                      | 60        |
| 4.3.5 Cálculo del tanque de almacenamiento.....                                                                                               | 61        |
| 4.3.6 Cálculo de la energía térmica.....                                                                                                      | 62        |
| 4.3.7 Discusión de resultados.....                                                                                                            | 63        |
| 4.4 Viabilidad del proyecto.....                                                                                                              | 67        |
| 4.4.1 Viabilidad ambiental.....                                                                                                               | 68        |
| 4.4.2 Viabilidad económica .....                                                                                                              | 68        |
| 4.5 Resultados del prototipo del biodigestor.....                                                                                             | 70        |
| 4.5.1 Prueba de la probeta invertida.....                                                                                                     | 72        |
| 4.5.2 Prueba de encendido del prototipo.....                                                                                                  | 73        |
| <b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....</b>                                                                                        | <b>75</b> |
| 5.1 Conclusiones .....                                                                                                                        | 75        |
| 5.2 Recomendaciones.....                                                                                                                      | 76        |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                                                                                                      | <b>77</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                                                                                                                            | <b>81</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS.

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Datos promedios sobre el contenido de solidos totales de diversos residuos .....               | 31 |
| <b>Tabla 2.</b> Potencial de Solidos Volátiles (SV) por especie.....                                           | 32 |
| <b>Tabla 3.</b> Tipo de temperaturas.....                                                                      | 33 |
| <b>Tabla 4.</b> Variaciones del pH.....                                                                        | 34 |
| <b>Tabla 5.</b> Tiempo de retención hidráulica con variaciones de temperatura.....                             | 35 |
| <b>Tabla 6.</b> Equipos necesarios para operación y mantenimiento .....                                        | 36 |
| <b>Tabla 7.</b> Composición media de estiércol frescos de diferentes animales domésticos .....                 | 42 |
| <b>Tabla 8.</b> Estimación de producción diaria de estiércol por tipo de animal y potencial de metano.....     | 43 |
| <b>Tabla 9.</b> Relación agua - estiércol recomendada.....                                                     | 43 |
| <b>Tabla 10.</b> Producción final y teórica de metano ( $CH_4$ ) a partir de estiércol de cerdo.....           | 46 |
| <b>Tabla 11.</b> Producción final y teórica de metano ( $CH_4$ ) a partir de estiércol vacuno .....            | 46 |
| <b>Tabla 12.</b> Tabla de porcentajes destinados a los correspondientes ítems.....                             | 51 |
| <b>Tabla 13.</b> Valoración de cada parámetro en una escala de 1 al 5. ....                                    | 51 |
| <b>Tabla 14.</b> Tabla final de la valoración de cada parámetro en función de la ecuación.....                 | 51 |
| <b>Tabla 15.</b> Tabla de porcentajes destinados a la comparación de las fuentes energéticas principales ..... | 53 |
| <b>Tabla 16.</b> Valoración de cada parámetro en una escala del 1 al 5. ....                                   | 53 |
| <b>Tabla 17.</b> Tabla final de la valoración entre la energía alternativa y convencional .....                | 53 |
| <b>Tabla 18.</b> Resumen de parámetros del diseño.....                                                         | 62 |
| <b>Tabla 19.</b> Análisis estimado de costos .....                                                             | 68 |
| <b>Tabla 20.</b> Medición de la temperatura del prototipo .....                                                | 71 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Sistema Batch.....                                                                | 23 |
| <b>Figura 2.</b> Biodigestor de sistema semicontinuo. ....                                         | 23 |
| <b>Figura 3.</b> Biodigestor tipo chino de campana fija.....                                       | 25 |
| <b>Figura 4.</b> Biodigestor tipo salchicha .....                                                  | 26 |
| <b>Figura 5.</b> Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno..... | 26 |
| <b>Figura 6.</b> Biodigestor tipo chino o de campana fija.....                                     | 27 |
| <b>Figura 7.</b> Cámara de carga o mezclado.....                                                   | 28 |
| <b>Figura 8.</b> Cámara de fermentación.....                                                       | 29 |
| <b>Figura 9.</b> Cámara de descarga.....                                                           | 29 |
| <b>Figura 10.</b> Porcentaje de gas en la cámara de fermentación. ....                             | 29 |
| <b>Figura 11.</b> Mapa de ubicación de la zona de estudio Empresa EXIBAL CIA. LTDA.....            | 39 |
| <b>Figura 12.</b> Diagrama de procesos de la planta EXIBAL CIA TLDA.....                           | 45 |
| <b>Figura 13.</b> Vista Lateral de la propuesta del Biodigestor.....                               | 64 |
| <b>Figura 14.</b> Vista frontal de la propuesta del biodigestor y tanque de almacenamiento. ....   | 65 |
| <b>Figura 15.</b> Vista aérea del diseño.....                                                      | 66 |
| <b>Figura 16.</b> Ilustración de la energía térmica.....                                           | 66 |
| <b>Figura 17.</b> Variación de Temperatura .....                                                   | 72 |
| <b>Figura 18.</b> Prueba de la probeta invertida .....                                             | 73 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Ecuación 1.</b> Cálculo del puntaje total .....                             | 51 |
| <b>Ecuación 2.</b> Energía usada por una ducha en 10 minutos .....             | 55 |
| <b>Ecuación 3.</b> Energía usada por las 4 duchas de manera simultanea.....    | 55 |
| <b>Ecuación 4.</b> Energía térmica de la cocina .....                          | 56 |
| <b>Ecuación 5.</b> Energía total requerida .....                               | 56 |
| <b>Ecuación 6.</b> Carga diaria de estiércol de cerdos.....                    | 58 |
| <b>Ecuación 7.</b> Relación agua - estiércol 2:1 .....                         | 58 |
| <b>Ecuación 8.</b> Volumen del biodigestor para el dimensionamiento .....      | 58 |
| <b>Ecuación 9.</b> Área de la sección trapezoidal.....                         | 59 |
| <b>Ecuación 10.</b> Cálculo de la longitud .....                               | 59 |
| <b>Ecuación 11.</b> Cálculo del área de la geomembrana.....                    | 59 |
| <b>Ecuación 12.</b> Cálculo del desplazamiento horizontal de B2 a B1 .....     | 59 |
| <b>Ecuación 13.</b> Cálculo del ángulo de inclinación .....                    | 59 |
| <b>Ecuación 14.</b> Cálculo de la longitud inclinada de la pared lateral ..... | 60 |
| <b>Ecuación 15.</b> Cálculo del área de cada lateral inclinada .....           | 60 |
| <b>Ecuación 16.</b> Cálculo de los ST .....                                    | 60 |
| <b>Ecuación 17.</b> Cálculo de los SV.....                                     | 60 |
| <b>Ecuación 18.</b> Cálculo de metano.....                                     | 61 |
| <b>Ecuación 19.</b> Cálculo de Biogás .....                                    | 61 |
| <b>Ecuación 20.</b> Volumen del tanque de almacenamiento.....                  | 61 |
| <b>Ecuación 21.</b> Área del tanque de almacenamiento.....                     | 61 |
| <b>Ecuación 22.</b> Longitud del tanque de almacenamiento.....                 | 61 |
| <b>Ecuación 23.</b> Energía térmica potencial.....                             | 62 |

## RESUMEN

La empresa Exibal CIA. LTDA. enfrenta desafíos significativos relacionados con los crecientes costos de la energía y su dependencia de las fuentes de energía convencionales, lo que afecta su competitividad y sostenibilidad. Este estudio aborda dicha problemática mediante el diseño de un biodigestor como solución de autoproducción energética.

La investigación, de carácter cuantitativo y aplicado, se centró en evaluar las fuentes de energía alternativas disponibles en la planta y determinar sus requerimientos energéticos. La metodología incluyó la identificación y cuantificación de la materia orgánica (estiércol porcino) disponible en la empresa, el análisis de la demanda térmica y la comparación de distintas tecnologías energéticas a través de una matriz de ponderación.

Los resultados demostraron que la biomasa es la fuente más viable, obteniendo la puntuación más alta en comparación con el GLP, la energía solar y la eólica. Los requerimientos energéticos que la planta necesita para funcionar en el área de la cocina es aproximadamente 800 KWh/mes, con el diseño del biodigestor de forma trapezoidal combinado con la geomembrana abastece completamente estas áreas requeridas con un sobrante del 64%.

El estudio concluye que la implementación de un biodigestor es una alternativa técnica y ambientalmente adecuada para diversificar la matriz energética de la planta, reducir costos y mejorar la gestión de residuos orgánicos.

**Palabras claves:** Energía alternativa, Biomasa, Biodigestor, Autoproducción.

## Abstract

Exibal CIA. LTDA. faces significant challenges related to rising energy costs and its reliance on conventional energy sources, both of which affect its competitiveness and sustainability. This study addresses this problem by designing a biodigester as a self-sufficient energy production solution. The quantitative and applied research focused on evaluating the plant's available alternative energy sources and determining its energy requirements. The methodology included identifying and quantifying the available organic matter (pig manure) at the company, analyzing thermal demand, and comparing different energy technologies using a weighting matrix. The results demonstrated that biomass is the most viable source, obtaining the highest score compared to LPG, solar energy, and wind power. The energy requirements for the plant's kitchen area are approximately 800 kWh/month. The trapezoidal biodigester design, combined with the geomembrane, fully supplies these areas with a 42% surplus. The study concludes that implementing a biodigester is a technically and environmentally sound alternative for diversifying the plant's energy mix and improving organic waste management.

**Keywords:** Alternative energy, Biomass, Biodigester, Self-production.



Reviewed by:

Mgs. Sonia Granizo Lara.

**ENGLISH PROFESSOR.**

c.c. 0602088890



## **CAPÍTULO I. INTRODUCCION.**

### **1.1 Problema de investigación**

A lo largo de la historia, el desarrollo de la humanidad se ha basado en el aprovechamiento de fuentes de energía no renovables. Debido a su uso indiscriminado se ha evidenciado un deterioro global del medio ambiente que ha llegado a niveles alarmantes si no se toman las medidas adecuadas. Algunos de los problemas notables del ecosistema mundial son el calentamiento global, la lluvia ácida y la disminución de la capa de ozono. Se presenta entonces la necesidad de recurrir a otras fuentes energéticas que reemplacen los combustibles fósiles, así se ve el nacimiento y estudio de varias fuentes energéticas renovables y amigables con el medio ambiente. Entre estas se puede incluir la radiación solar, la geotérmica, la biomasa, las mareas y la nuclear (Posso, 2002).

La situación energética de Ecuador enfrenta desafíos significativos debido a su dependencia histórica de fuentes no renovables, principalmente el petróleo, y a las limitaciones en infraestructura energética. A pesar de los avances en la diversificación de la matriz energética hacia fuentes renovables como la energía hidroeléctrica, aún persisten problemas como el acceso desigual a la energía, costos elevados para la industria y vulnerabilidad ante interrupciones en el suministro. Estas condiciones han incentivado la búsqueda de soluciones sostenibles que garanticen la eficiencia energética y la competitividad empresarial (Castillo et al., 2023).

En Ecuador, el Decreto Ejecutivo No. 239, emitido el 27 de octubre de 2021, establece que las empresas privadas pueden generar su propia energía eléctrica para autoconsumo. Además, si tienen excedentes, pueden comercializarlos a través de contratos bilaterales con el sistema público o grandes consumidores. Esta medida busca fomentar la autogeneración, promover la economía circular y apoyar el desarrollo de energías limpias sin privatizar el sistema eléctrico público (Presidencia de la República del Ecuador, 2021).

En este contexto, la empresa Exibal CIA. LTDA, dedicada a procesos industriales, enfrenta costos crecientes de energía y la necesidad de asegurar un suministro continuo para mantener su productividad. La empresa se encuentra planteando estrategias de autoproducción energética pero aún dependen mayoritariamente a la red eléctrica nacional y esto mantiene expuesta a la empresa a las fluctuaciones del mercado y a las restricciones del sistema energético nacional (EXIBAL, 2023).

Por lo tanto, surge la necesidad de evaluar la implementación de un sistema de autoproducción energética en Exibal CIA. LTDA que incorpore energías alternativas. Esto no solo mejoraría su eficiencia operativa y sostenibilidad, sino que también serviría como modelo para otras empresas en Ecuador que enfrentan retos similares, contribuyendo al fortalecimiento del sector energético nacional.

## **1.2 Justificación**

La implementación de un sistema de autoproducción energética mediante fuentes alternativas en la planta Exibal CIA. LTDA. responde a una doble necesidad: garantizar la mejor eficiencia energética operativa de la empresa y contribuir al desarrollo de un modelo energético más resiliente en Ecuador. Actualmente, el país está en un proceso de transición energética, buscando reducir su dependencia de combustibles fósiles y promover tecnologías más limpias y eficientes. En este sentido, la planta tiene la oportunidad de liderar este cambio al adoptar soluciones innovadoras que aseguren su competitividad y reduzcan su impacto ambiental (Fontalvo et al., 2022).

Desde el punto de vista económico, la autoproducción energética permite a Exibal CIA. LTDA disminuir su dependencia de la red eléctrica nacional, cuyos costos y estabilidad pueden ser impredecibles. Al aprovechar fuentes de energía alternas, la empresa podría optimizar su presupuesto energético y redirigir recursos hacia otras áreas estratégicas. Esto también la protegería frente a posibles problemas, asegurando un suministro confiable y económico a largo plazo.

La creciente necesidad de generar energía térmica viene dada por el calentamiento global, el aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, el incremento en los precios de los combustibles no renovables y la búsqueda de la independencia energética. Todo esto ha creado una nueva industria enfocada en la generación de energía mediante el aprovechamiento de fuentes renovables. Existen muchas opciones, dentro de ellas la biomasa, que se constituye como la tercera principal fuente para la obtención de energía eléctrica y como la principal fuente para la generación de energía térmica (Forero et al., 2012)

En conclusión, la implementación de un sistema de autoproducción de energía alternativa en Exibal CIA. LTDA tiene repercusiones que trascienden los beneficios internos de la empresa. Este proyecto podría posicionarse como un modelo de referencia para otras industrias en Ecuador, incentivando la adopción de tecnologías sostenibles que fortalezcan

el sector energético nacional. Además, la diversificación de la matriz energética, con un papel activo del sector privado, resulta esencial para promover un desarrollo sostenible, mitigar los impactos del cambio climático y garantizar un acceso equitativo y eficiente a la energía.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 General**

Diseñar y dimensionar un biodigestor para la diversificación energética en la planta Exibal CIA. LTDA.

#### **1.3.2 Específicos**

- Identificar y seleccionar las fuentes de energía alternativa que la planta pueda implementar.
- Determinar las demandas energéticas de la planta que puedan ser abastecidos mediante energía térmica proveniente de fuentes propias.
- Diseñar un biodigestor para la producción de biogás de manera sostenible.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 Definición de Energía alternativa**

Según Figueroa et al., 2022, Las energías alternativas representan una solución clave para reemplazar las fuentes de energía tradicionales. Estas opciones destacan por ser menos contaminantes y, sobre todo, por ser renovables. En un contexto global marcado por el calentamiento del planeta, se han vuelto esenciales para frenar el deterioro ambiental y prevenir un futuro más crítico.

Una de las mayores ventajas de estas energías es que no perjudican el medio ambiente, no generan impactos negativos en la sociedad y ofrecen una fuente inagotable a largo plazo. En sectores clave, como el alimenticio, optar por energías renovables se perfila como la mejor elección para garantizar un futuro sostenible. Esto es especialmente relevante si consideramos que las fuentes fósiles que hoy explotamos podrían agotarse antes de que termine este siglo, según las proyecciones actuales.

### **2.2 Importancia de las energías alternativas en la industria**

La transición hacia energías alternativas en la industria es clave para abordar desafíos globales como el cambio climático, la dependencia de combustibles fósiles y la sostenibilidad económica. Estas energías no solo ayudan a reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también ofrecen beneficios económicos a largo plazo al disminuir los costos operativos y fomentar la independencia energética (Posso, 2014).

Además, el uso de energías alternativas permite a las industrias cumplir con normativas ambientales más estrictas y mejorar su imagen ante consumidores cada vez más conscientes del impacto ambiental (Posso, 2014). También fomenta la innovación tecnológica, impulsa el desarrollo de nuevas infraestructuras y fortalece la seguridad energética al diversificar las fuentes de energía.

### **2.3 Tipos de energías alternativas**

- **Energía solar:** Generada mediante la captación de la radiación solar a través de paneles fotovoltaicos o sistemas térmicos. Uso industrial: Alimentación eléctrica, calentamiento de agua, procesos térmicos en la producción.

- **Energía eólica:** Aprovecha la fuerza del viento para mover turbinas que generan electricidad. Uso industrial: Alimentación de maquinaria y procesos, especialmente en zonas con buen recurso eólico.
- **Biomasa:** Producida a partir de materia orgánica como residuos agrícolas, forestales o urbanos. Uso industrial: Generación de calor y electricidad, sustitución de combustibles fósiles en calderas y hornos.
- **Energía hidroeléctrica:** Generada por el movimiento del agua, generalmente en represas o corrientes naturales. Uso industrial: Suministro de energía eléctrica a gran escala para fábricas y comunidades.
- **Energía geotérmica:** Se obtiene del calor almacenado en el interior de la Tierra. Uso industrial: Sistemas de calefacción y procesos que requieren calor constante.
- **Energía mareomotriz y undimotriz:** Producida por el movimiento de las mareas o las olas del océano. Uso industrial: Generación de electricidad en industrias cercanas a costas (Figuerola et al., 2022).

## 2.4 Beneficios de las energías alternativas en la industria

Las energías alternativas ofrecen múltiples beneficios para la industria, transformando no solo la forma en que producimos, sino también cómo cuidamos el planeta. Al reducir la huella de carbono y otros contaminantes, estas fuentes contribuyen significativamente a un futuro más limpio y sostenible (Barón & Contreras, 2020).

## 2.5 Beneficios de la energía de la Biomasa en la industria

La energía de la biomasa, tanto seca como húmeda, ofrece múltiples beneficios al aprovechar recursos orgánicos renovables. La biomasa seca, como madera y residuos agrícolas, es eficiente para generar calor y electricidad mediante combustión o gasificación, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles. Por otro lado, la biomasa húmeda, como estiércol y residuos orgánicos, se utiliza en procesos como la digestión anaeróbica para producir biogás, que puede emplearse como combustible limpio. Ambas formas contribuyen a la gestión sostenible de residuos, disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero y promueven el desarrollo y la diversificación de las fuentes de energía (Romero, 2010).

## 2.6 Biodigestores

Un biodigestor es un sistema cerrado diseñado para descomponer materia orgánica a través de un proceso biológico llamado digestión anaerobia, que ocurre en ausencia de

oxígeno. Durante este proceso, microorganismos descomponen residuos orgánicos (como excrementos, restos de alimentos, desechos agrícolas e industriales) para producir dos principales subproductos:

- **Biogás:** Una mezcla de gases, principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que puede usarse como fuente de energía renovable.
- **Digestato:** Un residuo líquido o sólido rico en nutrientes, útil como fertilizante natural (FAO, 2011).

El funcionamiento de un biodigestor se determina por la entrada de materia orgánica mezclado con agua, dentro del biodigestor cerrado durante unos días produce un crecimiento de microorganismos, los cuales son óptimos para degradar esta materia y dar como resultado el biogás, este resulta amigable para el ambiente y también produce otros compuestos como el biol y el bioabono, el biogás luego puede ser usado como combustible generador de calor (Garzón, 2011).

Los biodigestores pueden adoptar diferentes formas, cubica, rectangular, cilíndrica, y ovoide, en la actualidad se construyen mayormente de forma cilíndrica. Los biodigestores modernos son fabricados con cubiertas fijas o de geomembrana permitiendo el control de la presión por su forma herméticamente sellada en la cual se da un control de pH, humedad y temperatura. También poseen un filtro de olores que se lo fabrica con virutas de metal que neutralizan el olor fétido del Biogás (Eatón et al., 2013).

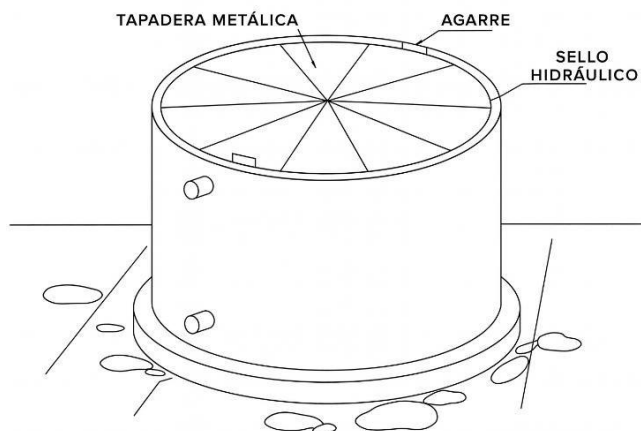
## **2.6.1 Clasificación de los Biodigestores**

Los biodigestores se clasifican de la siguiente manera:

### **2.6.1.1 Sistemas Batch y Discontinuos**

Son aquellos que el llenado a la cámara del digestor se realiza al principio, cuando se quiera descargar se debe realizar solo cuando el proceso finalice, lo cual requiere una mayor mano de obra, un lugar donde se pueda almacenar la materia orgánica y adicionalmente tanque de almacenamiento para el gas metano (Schleenstein et al., 2009).

**Figura 1.** Sistema Batch.

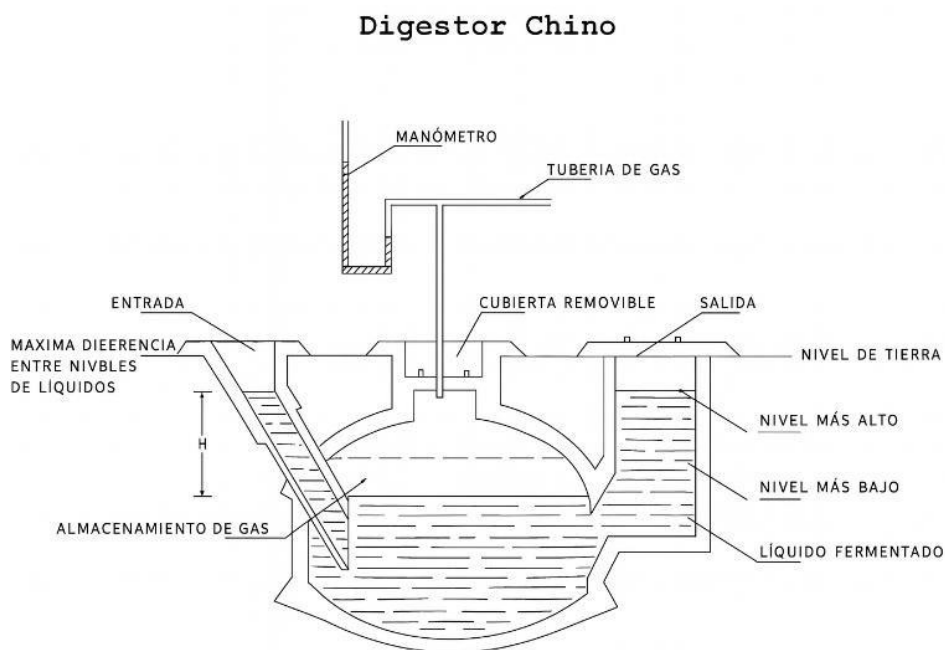


**Fuente:** Schleenstein et al., 2009.

### 2.6.1.2 Sistemas Semicontínuos

Son los biodigestores más utilizados en la actualidad en zonas rurales por su uso casero y tamaño pequeño, los modelos más comunes son los de tipo chino e hindú. El modelo hindú tiene varias formas de fabricación y construcción, pero una de las más comunes es la forma vertical y enterrados ya que la entrada de la carga de sustancias orgánicas es realizada por gravedad, la alimentación se la realiza una vez por día tomando en cuenta su fermentación, la mezcla, tiempo de retención y obtenemos un caudal de gas constante controlando las condiciones de operación (Salazar, 2012).

**Figura 2.** Biodigestor de sistema semicontínuo.



**Fuente:** Salazar, 2012.

✓ **Ventajas**

- Se puede añadir carga seca que no absorba humedad así permite la existencia de materiales que estén flotando en el agua.
- Tienen la capacidad procesar una variedad de materiales, y se puede almacenar la materia prima a campo o cielo abierto.
- El trabajo lo realiza en ciclos y no es necesario almacenar mucha materia orgánica ya que se lo va alimentando cada día.
- No es necesario un cuidado o mantenimiento detallado (Suntagsi, 2010).

✓ **Desventajas**

- La carga necesita de una mezcla homogénea de la materia orgánica con el agua y puede resultar trabajoso.
- La descarga también puede ser trabajosa (Suntagsi, 2010).

### **2.6.1.3 Sistemas continuos**

Estos digestores resultan más complejos y pueden requerir mayor mano de obra ya que necesitan que la descarga se realice diariamente y la mezcla debe ser bien fluida y mecanizada, además se necesita un depósito extra para el gas (Solari, 2008).

✓ **Ventajas**

- Este sistema permitir controlar la digestión con precisión previniendo cualquier imprevisto en el proceso.
- Con estos digestores hay oportunidad de corregir cualquier anomalía que pueda surgir en el proceso.
- Nos permite manejar las variables tanto de la cantidad de la carga, temperatura y tiempo de retención.
- Las tareas de carga y descarga no necesitan de una operación en especial es de fácil trabajo por lo que no requiere de mucha mano de obra (Solari, 2008).

### **2.6.2 Tipos de biodigestores**

La existencia de una gran cantidad de tipos de biodigestores nos permite escoger uno con características adecuadas para el tipo de carga orgánica a utilizarse en la nuestra investigación (Solari, 2008).

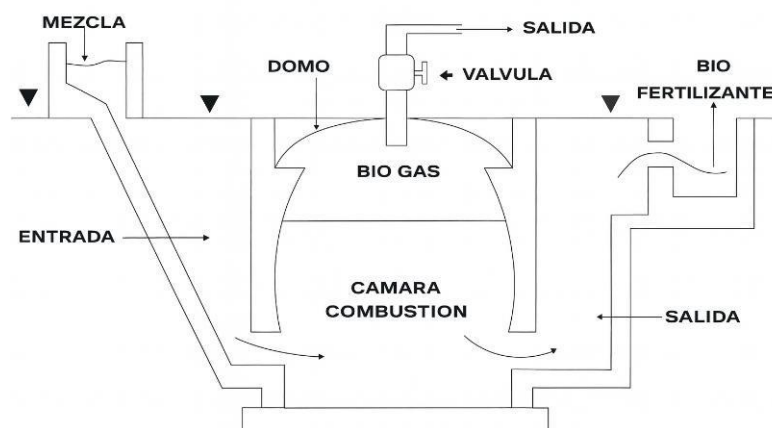


### 2.6.2.1 Digestor tipo chino o de campana fija

Este tipo de biodigestores tienen forma cilíndrica con el techo y piso en forma cónica y también se los construyen enterrados dependiendo de la profundidad del diseño (Silva, 2002).

El proceso inicia llenando el digestor de materia orgánica mezclados con lodos activos o digestatos resultantes de otro digestor es decir se aprovecha el líquido que sale y no se desperdicia, en el momento que ya está cargado se lo debe alimentar diariamente según la materia orgánica que esté disponible ya sea de animales o de letrinas a través de un tubo de carga que se encuentra en la caja de mezcla que posee el digestor (Chavarría, 2014).

**Figura 3.** Biodigestor tipo chino de campana fija.



**Fuente:** Salazar, 2012.

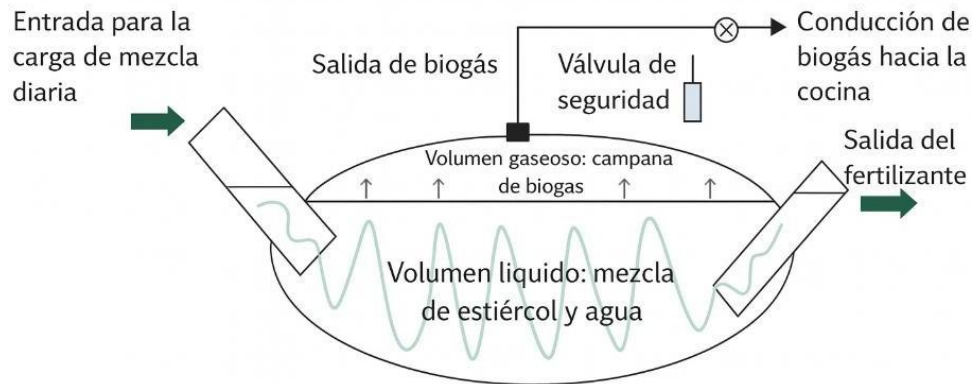
### 2.6.2.2 Biodigestor tipo salchicha o tubular

En estos biodigestores se debe realizar una excavación aproximadamente de alto entre 1 a 1.50 metros y de largo según el diseño realizado, pero puede variar de 4 a 7 metros de largo, el modelo de salchicha se lo realiza de material plástico (polietileno), debe estar totalmente sellado en la entrada y salida que están ubicadas a cada extremo de las paredes donde se realizó la excavación (Chavarría, 2014).

En la parte interior del digestor se encuentra un 75% del volumen que constituye la masa de fermentación, y en la parte superior con el 25% que está el almacenamiento de biogás. Este tipo de digestores es recomendado para aquellos lugares en donde las condiciones climáticas sean favorables y adecuados para los respectivos procesos de operación, no resultan recomendables para lugares fríos (Schleenstein et al., 2009).

Entre sus ventajas podemos encontrar que sus materiales para la construcción son fáciles de transportar, la instalación resulta sencilla, debe instalarse en lugares con nivel freático alto por su construcción horizontal, y en comparación con otros digestores el costo de construcción y operación es relativamente menor. Entre sus desventajas tenemos que la presión de biogás es baja y la vida útil es corta entre 3 y 8 años (Chavarría, 2014).

**Figura 4.** Biodigestor tipo salchicha.



**Fuente:** Chavarría, 2014.

### 2.6.2.3 Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno

Este tipo de biodigestor ha logrado la disminución en los costos de implementación y construcción comparado con los biodigestores tradicionales hasta un 30%, tiene una estructura semiesférica de polietileno y sustituye a los biodigestores de estructuras fijas que son construidos con materiales rígidos (Estrada, 2013).

**Figura 5.** Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno.



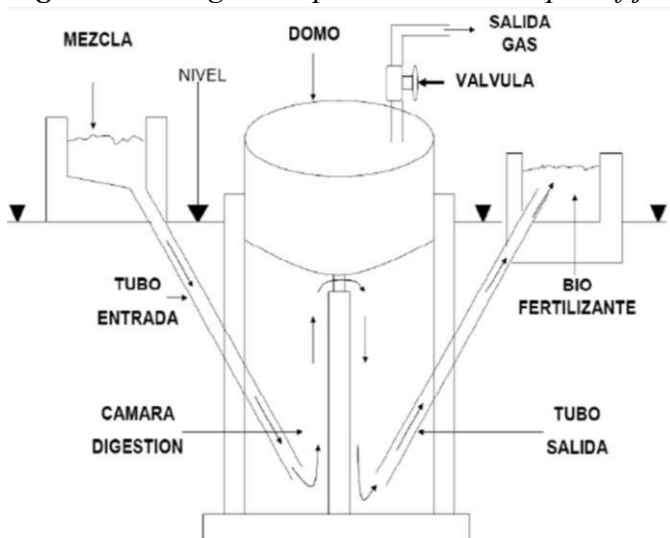
**Fuente:** Estrada, 2013.

#### 2.6.2.4 Digestor tipo hindú o de campana flotante

Este tipo de biodigestor fue creado en la India y existen varios modelos, pero los más utilizados son los de forma vertical y enterrados en forma de pozo. La carga de la materia orgánica se lo realiza por gravedad en la cámara del digestor y por medio de la fermentación y el tiempo de retención se obtiene una cierta cantidad de biogás siempre y cuando se mantenga los procesos de operación (Fernández, 2006).

El gasómetro encargado de medir la cantidad de gas se debe integrar al sistema en la parte superior del tanque por medio de un canal donde se debe construir un espacio en el que se almacena el gas; la campana sube y baja dependiendo del volumen de biogás que contiene, el digestor se puede construir normalmente de ladrillos, pero en la actualidad se construye de lámina de hierro, fibra de vidrio, hormigón armado, y acero inoxidable; es con el fin de que no exista ninguna fuga del biogás (Estrada, 2013).

**Figura 6.** Biodigestor tipo chino o de campana fija.



**Fuente:** Estrada, 2013.

### 2.6.3 Componentes principales del biodigestor

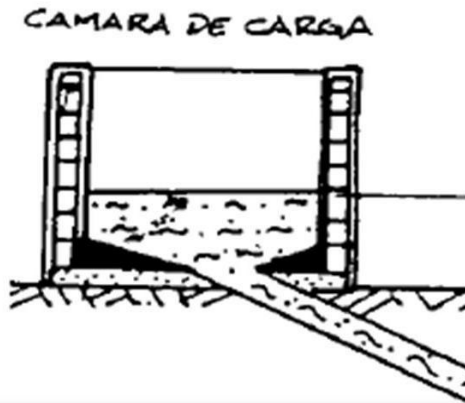
#### 2.6.3.1 Cámara de mezclado

Esta cámara resulta de máxima importancia ya que es por la cual ingresan los residuos orgánicos para poder llegar a la siguiente cámara denominada cámara de fermentación.

El diseño de esta cámara depende totalmente de la cantidad diaria de producción de los residuos orgánicos la función primordial de esta cámara es mezclar el agua con los residuos orgánicos obteniendo una mezcla homogénea, es recomendable equiparlo con un

equipo automatizado para realizar la mezcla ya que puede requerir de mucha fuerza para su mezclado (Fernández, 2006).

**Figura 7.** Cámara de carga o mezclado.



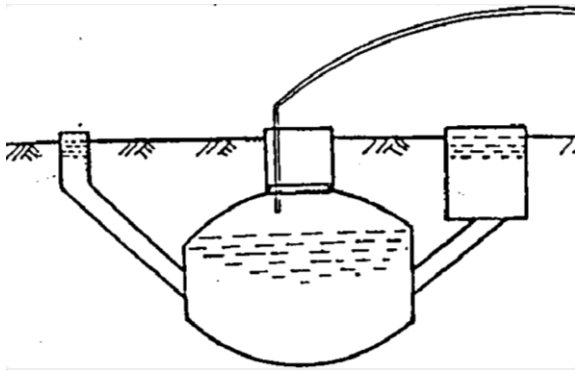
**Fuente:** Fernández, 2006.

### **2.6.3.2 Cámara de fermentación**

La cámara de fermentación es una de las más importantes es aquí el lugar donde se realiza la descomposición o fermentación de los residuos mediante la existencia de bacterias en cada proceso a medida que vaya avanzando su degradación para ser posible la cámara debe cumplir con las siguientes características (Olaya, 2012).

- Ser impermeable dado que no debe salir ni entrar oxígeno, tampoco deben existir fugas de gas del interior del tanque, si esto no se cumple provocará la contaminación del lugar y resultará en un diseño ineficiente.
- Colocar aislantes para que no se produzca la pérdida de calor dentro del tanque de fermentación.
- Se lo puede construir de diferentes materiales los cuales van a determinar la vida útil y el costo de este entre ellos tenemos: cemento, metal, madera, mampostería, plástico.
- Se debe incluir un modo de agitación dentro de esta cámara de tipo mecánico siendo los más fundamentales los de forma de paletas y hélices (Montes, 2008).

**Figura 8.** Cámara de fermentación.

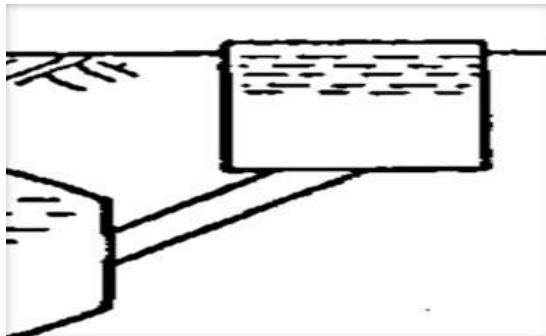


**Fuente:** Fernández, 2006.

#### 2.6.3.3 Cámara de descarga

Las dimensiones que se recomiendan para esta cámara son de 2 a 3 comparada con la cámara de carga diaria debido a que la salida del efluente va a ser del igual al volumen que ingresa (Olaya, 2012).

**Figura 9.** Cámara de descarga.



**Fuente:** Olaya, 2012.

#### 2.6.3.4 Cámara de almacenamiento de biogás

Se tiene que la relación entre la cámara de almacenamiento de biogás y el tanque de fermentación es de 25% de gas y 75% de residuos sólidos (Olaya, 2012).

**Figura 10.** Porcentaje de gas en la cámara de fermentación.



**Fuente:** Olaya, 2012.

#### **2.6.3.5 Tubería de entrada y salida del biodigestor**

Para la tubería del biodigestor es recomendable poner tubos de PVC entre 4 a 8 pulgadas, la ubicación de la tubería de entrada del sustrato se lo coloca en la parte superior y la de descarga se localiza a unos 20 cm del nivel del suelo del biodigestor para la salida del biofertilizante debido a la densidad de este (Guerrero, 2011).

#### **2.6.3.6 Tubería de gas**

Para conducir el gas generado en el biodigestor al tanque de almacenamiento o directamente para su uso, se debe tener en cuenta la situación del lugar, se recomiendan tuberías que soporten altas presiones como por ejemplo las de cobre, estas tienen una alta resistencia al desgaste químico y también resultan económicas (Salazar, 2012).

#### **2.6.3.7 Válvulas de seguridad**

Las válvulas de seguridad nos permiten tener la presión del gas regulada, esto para evitar posibles accidentes debido a que si el biodigestor llega a su máxima capacidad puede sobrepasar los niveles de seguridad establecidos en el diseño, estas válvulas permiten que el biogás salga y se alivie la presión acumulada dentro del biodigestor (Montes, 2008)

### **2.6.4 Funcionamiento de un biodigestor anaerobio**

Según (García, 2020), El funcionamiento de un biodigestor se basa en cuatro etapas principales:

- **Hidrólisis**

Las macromoléculas complejas (carbohidratos, proteínas y grasas) se descomponen en moléculas más simples como azúcares, aminoácidos y ácidos grasos.

- **Acidogénesis**

Los compuestos simples generados en la hidrólisis son convertidos en ácidos orgánicos, alcoholes, dióxido de carbono, hidrógeno y otros subproductos.

- **Acetogénesis**

Los ácidos orgánicos y el alcohol se transforman en acetato, dióxido de carbono e hidrógeno.

- **Metanogénesis**

Los microorganismos metanógenos convierten el acetato, el dióxido de carbono y el hidrógeno en metano y agua. Esta etapa es la principal fuente de producción de biogás.

### 2.6.5 Beneficios del uso de biodigestores en procesos industriales

El biogás generado por los biodigestores se convierte en una solución práctica y sostenible para diversas necesidades energéticas. Puede usarse como combustible para calderas, generadores eléctricos o incluso vehículos, lo que ayuda a reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles. Además, estos sistemas contribuyen significativamente a la disminución de desechos orgánicos en vertederos, lo que no solo evita la acumulación de basura, sino también reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, como el metano, que tanto dañan nuestro planeta (Barón & Contreras, 2020).

### 2.7 Tipo de materia prima

La materia prima son aquellas sustancias líquidas, sólidas y gaseosas que se utilizan para elaborar otros subproductos, también se pueden encontrar otras que son fermentables como son los excrementos de animales y humanos, aguas residuales, residuos vegetales, y basuras (Aznar, 2012).

#### 2.7.1 Niveles de solidos totales y solidos volátiles

La materia orgánica normalmente está compuesta de agua y una fracción sólida llamada solidos totales (ST). Este porcentaje de solidos totales que están dentro en la mezcla con la cual se carga el biodigestor es un factor importante por considerar para asegurar que el proceso se efectúe correctamente. La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas.

De manera experimental se ha demostrado que una carga en digestores semicontinuos no debe tener más de un 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar el buen funcionamiento del proceso, a diferencia de los digestores discontinuos, que tienen entre un 40 a 60% de sólidos totales.

Para poder calcular el volumen de agua que se debe mezclar con la materia prima para dar la proporción adecuada de sólidos totales, es indispensable conocer el porcentaje de sólidos totales de la materia prima fresca (FAO, 2011).

**Tabla 1.** Datos promedios sobre el contenido de solidos totales de diversos residuos

| Materias primas   | %Solidos totales |
|-------------------|------------------|
| Residuos animales |                  |
| Vacuno            | 13.4 – 56.2      |

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| <b>Porcinos</b>         | 15.0 – 49.0 |
| <b>Aves</b>             | 26.0 – 92.0 |
| <b>Caprinos</b>         | 83.0 – 92.0 |
| <b>Ovejas</b>           | 32.0 – 45.8 |
| <b>Conejos</b>          | 34.7 – 90.8 |
| <b>Equinos</b>          | 19.0 – 42.9 |
| <b>Excretas humanas</b> | 17.0        |

**Fuente:** FAO, 2011.

Los Sólidos Volátiles (S.V.). Es aquella porción de sólidos totales que se libera de una muestra, volatilizándose cuando se calienta durante dos horas a 600°C, generalmente entre el 60 - 80% de los sólidos totales. Los SV contienen componentes orgánicos, los que teóricamente deben ser convertidos a metano (FAO, 2011).

**Tabla 2.** *Potencial de Sólidos Volátiles (SV) por especie*

| <b>Especie</b>  | <b>Peso Vivo</b> | <b>l/kg SV</b> |
|-----------------|------------------|----------------|
| <b>Cerdos</b>   | 50               | 340 – 550      |
| <b>Vacunos</b>  | 400              | 90 – 310       |
| <b>Equinos</b>  | 450              | 200 – 300      |
| <b>Ovinos</b>   | 45               | 90 – 310       |
| <b>Aves</b>     | 1.5              | 310 – 620      |
| <b>Caprinos</b> | 40               | 110 – 290      |

**Fuente:** García, 2020.

## **2.7.2 Estiércol**

El estiércol no son más que los excrementos y la purina que consta en la orina de los animales y esta materia orgánica puede ser de distintos animales como porcina, vacuno, caprina, caballos, mula etc. (Soria, 2009).

### **2.7.2.1 Aplicaciones del estiércol**

Años atrás se utilizaba el estiércol directamente como abono orgánico para los suelos en la agricultura ya que este estiércol enriquecía y mejoraba la fertilidad de los suelos y los reponía satisfactoriamente. También surge la utilización de este estiércol para elaborar compost que se obtiene de un bioproceso que lleva más tiempo (García, 2020).



### 2.7.3 Biomasa

La biomasa es un conjunto de materia orgánica por su origen y naturaleza, la energía de la biomasa proviene del material vegetal y animal. También hay que tomar en cuenta que la biomasa se utiliza en la actualidad para procesos eficientes y limpios para convertirla en energía transformándola en biocombustibles líquidos (biohidrocarburos, aceites vegetales), sólidos (astillas, leña sin procesar, carbón vegetal) y gaseosos (biogás, hidrógeno, gas de gasógeno) (Fernández, 2006).

## 2.8 Factores influyentes en la degradación anaerobia

La degradación anaerobia tiene varios factores que pueden limitarse debido a que son sensibles a las diferentes variaciones tanto climáticas como parámetros físicos y químicos tanto dentro del reactor como en las reacciones bioquímicas (Montes, 2008).

### 2.8.1 Temperatura

Es uno de los parámetros fundamentales para la digestión, se ha demostrado que la oscilación dentro del proceso de digestión puede ser de 20° - 40 °C donde no se producen alteraciones absolutas por consiguiente se trabaja en tres tipos diferentes de rangos explicados en la **Tabla 3** (Fernández, 2006).

Si se supera la temperatura de 60 °C esto provocara la inhibición de las bacterias, tampoco es recomendable tener una temperatura menor a los 20 °C ya que se provocará que el tiempo de retención hidráulica sea muy corto dando lugar a que las bacterias sean expulsadas fuera del sistema (Finck, 2009).

**Tabla 3.** Tipo de temperaturas.

| Temperaturas  | Mínimo  | Máximo  | Optimo  |
|---------------|---------|---------|---------|
| Psicrofílicas | 4 - 10  | 25 - 30 | 15 - 18 |
| Mesófilo      | 15 - 20 | 35 - 45 | 28 - 33 |
| Termofílico   | 25 - 45 | 75 - 80 | 50 - 60 |

Fuente: Finck, 2009.

### 2.8.2 pH

Se recomienda controlar el pH dando una variación entre 6 a 8.3 como máximo para que el proceso de degradación sea estable. Si se tiene un pH ácido se producirá una toxicidad dentro del proceso de digestión que van a afectar a las bacterias metanogénicas, en cuanto a valores de pH bajos se realizaron estudios donde se determinó que si el pH disminuye se

corre el peligro de cambiar la composición del gas generando malos olores y generar mínimas cantidades de gas, si esto sucede se está generando un gas de baja calidad con más presencia de CO<sub>2</sub> y un aumento de H<sub>2</sub>S (Montes, 2008).

**Tabla 4.** *Variaciones del pH.*

| <b>pH</b>     |               | <b>EFEECTO</b>                  |
|---------------|---------------|---------------------------------|
| <b>MÍNIMO</b> | <b>MÁXIMO</b> |                                 |
| 7.2           | 7.2           | <b>OPTIMO</b>                   |
| ≤             | 6.2           | <b>RETARDA LA ACIDIFICACIÓN</b> |
| ≥             | 7,6           | <b>RETARDA LA AMONIZACIÓN</b>   |

**Fuente:** Finck, 2009.

### **2.8.3 Nutrientes**

Para que los nutrientes puedan desarrollarse necesitan un medio estable, que se les proporcione una fuente de energía y que se tenga una buena relación entre el carbono y nitrógeno así facilitando la digestión anaerobia con una oscilación de 20 a 30 días en cuanto al tiempo de retención hidráulica, si se trabaja con valores de 20 días o menos se disminuirá la velocidad de reacción y en altas concentraciones se producirá que el nitrógeno se degrade por los metanógenos, resultando en una producción mínima de biogás (Moncayo, 2008).

### **2.8.4 Tiempo de retención hidráulica (TRH)**

El TRH se lo conoce como el tiempo en el que el sustrato permanece en el sistema cerrado donde actúan las bacterias solo puede ser válido en sistemas discontinuos, pero en sistemas semicontinuos o continuos su tiempo de retención hidráulica va a ser determinado por el volumen del tanque de fermentación y la entrada inicial para la alimentación en el sistema (Finck, 2009).

Importante añadir que el tiempo de retención hidráulica va de la mano con la temperatura debido a que a mayor temperatura se va a acelerar la digestión resultando en un menor tiempo de retención hidráulica por lo que el diseño del tanque de fermentación será menor, es decir que va a necesitar menor volumen.

El tiempo de retención hidráulica nunca va a ser igual en los sistemas cerrados empleados ya que van a tener diferentes variaciones esto dependiendo de la zona en la cual se encuentran, como se lo explica en la siguiente tabla (Chavarría, 2014).

**Tabla 5.** *Tiempo de retención hidráulica con variaciones de temperatura.*

| TRH (DÍAS) | TEMPERATURA |
|------------|-------------|
| 15         | 30 y 35° C  |
| 25 - 30    | 10 a 25 °C  |
| 80 a 90    | 8 a 12 °C   |

**Fuente:** FAO, 2011.

### **2.8.5 Agitación**

Añadir un sistema de agitación permite que la mezcla entre al digestor de manera homogénea, esto ayuda a mantener una temperatura homogénea o estable, permitiendo con esto la generación de gases y minimizando la formación de una especie de nata con espuma, en los sistemas que no tengan este mezclado puede ocasionar una sedimentación, importante mencionar que el mezclado no puede ser muy rápido debido a que se puede destruir el consorcio bacteriano (Montes, 2008).

## **2.9 Autoproducción energética**

La autoproducción energética se define ampliamente como la generación de energía por parte del usuario para su propio consumo, que ocurre en el punto de uso o cerca de él. Implica una comparación entre la cantidad de energía producida por el usuario y la cantidad total de energía consumida o producida en el lugar. Esto puede abarcar desde individuos que generan electricidad para sus hogares hasta empresas que producen energía para sus operaciones. Un aspecto clave es el potencial de independencia energética y la reducción de la dependencia de la red eléctrica tradicional. La energía generada a menudo proviene de fuentes renovables, como paneles solares fotovoltaicos o mini turbinas eólicas (Posso et al., 2014).

### **2.10 Equipos necesarios para la operación y mantenimiento**

Es necesario disponer de ciertos equipos de distribución, purificación y tratamiento del biogás generado en el biodigestor, con el objeto de llevar este producto a los diferentes

puntos de consumo y remover contaminantes que pueden estar presentes en la corriente gaseosa (FAO, 2011).

Los principales equipos requeridos son:

**Tabla 6.** Equipos necesarios para operación y mantenimiento

| Equipos                                                                             | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Implementación de distribución de biogás</p> <p>Mangueras flexibles, Juntas, acoples y válvulas.</p>                                                                                                                                                               |
|   | <p>Flujómetro</p> <p>Para permitir una medición rápida de volumen de biogás utilizado.</p>                                                                                                                                                                            |
|  | <p>Manómetros</p> <p>Para disponer de una fácil y rápida medición del nivel de presión de la línea de distribución de biogás. Esto es muy importante para determinar si el sistema mantiene suficiente presión para poder hacer uso de los artefactos domésticos.</p> |
|  | <p>Bomba de lodos</p> <p>Las bombas de lodos son equipos diseñados para transportar materiales viscosos y con sólidos en suspensión, comúnmente utilizados en industrias como el tratamiento de aguas residuales.</p>                                                 |



Filtro desulfurizador para  
planta familiar

Permite la extracción del sulfuro de hidrógeno que es componente natural del biogás. Este  $H_2S$  es muy corrosivo y, por lo tanto, su eliminación es importante para garantizar una mayor vida útil de los equipos domésticos usados a biogás.



Filtro deshidratador

Permite la extracción del vapor de agua que es componente natural del biogás.

---

**Fuente:** FAO, 2011.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGIA.**

### **3.1 Tipo de investigación**

El tipo de investigación en este trabajo es aplicado y de enfoque experimental, ya que busca solucionar una necesidad real mediante la implementación de alternativas energéticas sostenibles. El estudio se centra en el diseño de un biodigestor para la diversificación energética, integrando fundamentos teóricos con procedimientos prácticos que permiten validar su funcionamiento. Para ello, se llevó a cabo la construcción y evaluación de un prototipo, mediante el cual fue posible analizar el comportamiento del sistema, comprobar la viabilidad técnica del diseño propuesto y generar evidencia que respalde su potencial para contribuir a la transición hacia fuentes renovables de energía.

### **3.2 Diseño de Investigación**

El diseño de investigación para este proyecto se enmarca en un enfoque no experimental, específicamente de tipo descriptivo. Busca describir detalladamente las características y los requerimientos para el diseño del biodigestor, así como los parámetros técnicos, funcionamiento y económicos relevantes para su implementación en Exibal CIA. LTDA.

### **3.3 Métodos de análisis, y procesamiento de datos**

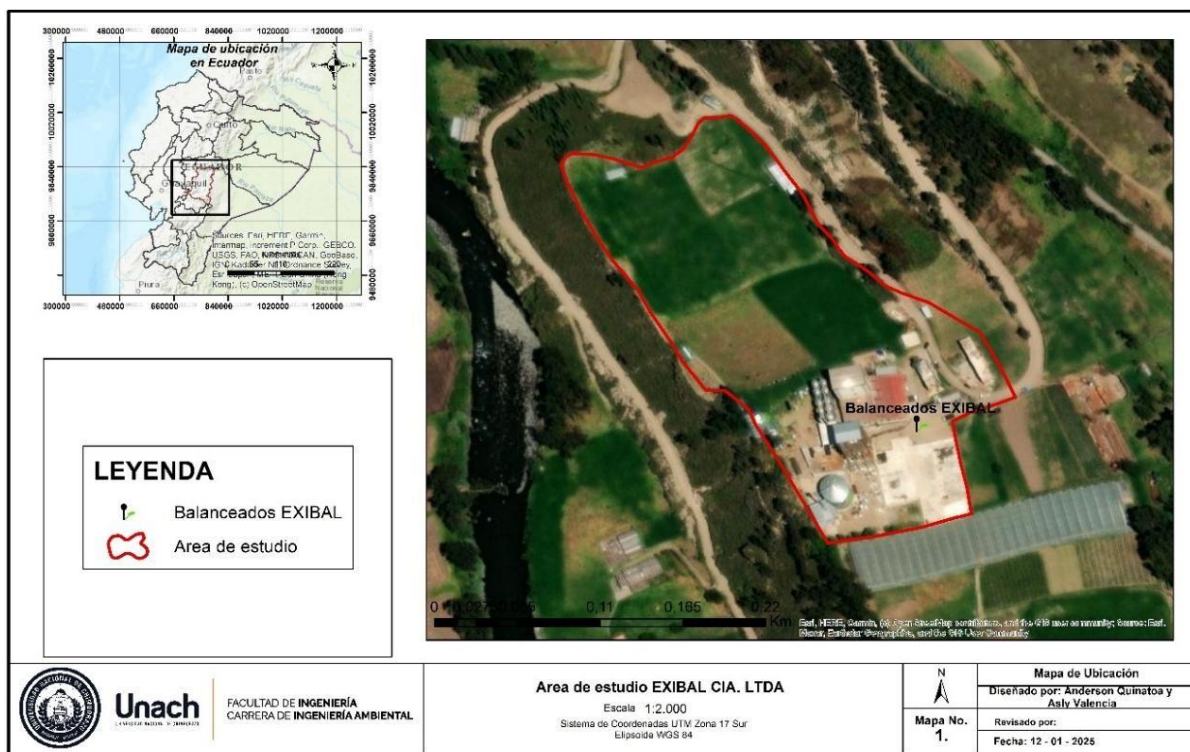
Los métodos de recolección de datos incluirán la revisión bibliográfica exhaustiva sobre biodigestores y diversificación energética, el análisis documental de la información técnica y los consumos energéticos de la planta, y posiblemente entrevistas semiestructuradas con personal clave de la empresa para comprender sus necesidades y limitaciones específicas. Para el análisis y procesamiento de datos, se emplearán técnicas cuantitativas.

Los datos técnicos del biodigestor se utilizarán para realizar cálculos de dimensionamiento y eficiencia, y se podría emplear un análisis de costos para evaluar la viabilidad económica del proyecto.

### **3.4 Área de estudio**

La presente investigación se desarrolló en la planta de elaboración EXIBAL CIA. LTDA, se encuentra ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Chambo, parroquia Chambo, barrio San Jorge El Boliche (Figura 11), caracterizado por presentar un área totalmente intervenida dedicada a actividades agropecuarias, además de ello la planta se encuentra cerca del río Chambo a una distancia aproximada de 362 metros (EXIBAL, 2023).

**Figura 11. Mapa de ubicación de la zona de estudio Empresa EXIBAL CIA. LTDA**



**Fuente:** Autores

Para lograr los objetivos planteados de esta investigación se van a realizar las siguientes actividades:

### 3.5 Identificación de las fuentes de energía alternativa que la planta pueda disponer para su viabilidad inmediata

Se realiza una revisión bibliográfica para consultar las tecnologías de energía alternativa aplicables al sector industrial dentro del Ecuador y la zona de estudio en la que se desarrollará la investigación.

Se realiza una identificación de las fuentes potenciales para sustituir el uso convencional del GLP dentro de la planta por medio de visitas técnicas a la empresa, ejemplo: biomasa, solar térmica, eólica, entre otras, con el fin de saber la disposición de fuentes de energías renovables con las que se puede contar y, por último, se evalúa la disponibilidad inmediata de cada fuente, considerando factores como cantidad, calidad y regularidad del recurso.

Para una mejor fiabilidad en cuanto a la selección de la fuente más viable se realizó una ponderación y calificación de las distintas fuentes de energía identificadas, con ayuda de distintos documentos de la FAO en donde describen la importancia de los distintos parámetros (Eficiencia; Inversión; Obras y mantenimiento; Disponibilidad y sostenibilidad;

Ambiental; Fiabilidad; Vida útil; Espacio e infraestructura) que afectan a nuestras fuentes de energía previamente identificadas.

Esta metodología consiste en 3 tablas, en las cuales la primera corresponde a los porcentajes destinados a cada ítem, es decir la importancia que tiene cada parámetro para su selección. En la siguiente se realiza una valoración de cada parámetro en una escala de 1 al 5, esto se lo realizo en base a todas las visitas técnicas y entrevistas previas al personal encargado. Para la tabla final se realiza la correspondiente aplicación de la ecuación 1, que consiste en la multiplicación de la valoración asignada con el porcentaje de importancia, para finalmente sumar cada valor resultante en cada fuente de energía, obtener el total, siendo el máximo 500 y así saber cuál es la más viable después de todo este análisis.

### **3.5.1 Recopilación de Datos Primarios:**

- Se realiza entrevistas con personal clave de Exibal CIA. LTDA. (p. ej., gerentes de planta, ingenieros, responsables de sostenibilidad) para comprender la infraestructura existente, los flujos de residuos orgánicos disponibles y cualquier consideración previa sobre fuentes de energía alternativas.
- Se realiza visitas a las instalaciones para observar las operaciones de la planta, identificar posibles fuentes de residuos orgánicos aptas para la digestión anaeróbica y evaluar el espacio disponible para la instalación de un biodigestor.

### **3.5.2 Recopilación de Datos Secundarios:**

- Se analiza los informes existentes de la empresa de la disponibilidad de animales para determinar el afluente.
- Se realiza una revisión exhaustiva de la literatura científica, los informes técnicos y los estudios de caso sobre diversas tecnologías de energía renovable, con especial atención a la digestión anaeróbica y la producción de biogás a partir de flujos de residuos industriales similares.

### **3.5.3 Análisis de Viabilidad Técnica:**

- Se evalúa la viabilidad técnica de las diferentes fuentes de energía alternativas disponibles para la planta (p. ej., solar, eólica, biomasa, biogás). Esto implicará considerar factores como la disponibilidad de recursos, la madurez tecnológica, los requisitos de espacio, la integración con los sistemas existentes.



#### **3.5.4 Análisis comparativo**

- Se establecen criterios de selección como capacidad de generación energética, sostenibilidad, costo y facilidad de implementación.

#### **3.5.5 Selección de la fuente viable**

- Se selecciona la fuente de energía más viable luego del análisis comparativo que se realiza considerando los criterios establecidos previamente. Esta selección incluirá una evaluación de beneficios y compatibilidad técnica con las operaciones actuales y proyectadas de la planta.

#### **3.5.6 Justificación de la selección**

- Se proporciona una justificación clara y bien fundamentada para seleccionar la digestión anaeróbica y la producción de biogás como la fuente de energía alternativa preferida, destacando sus ventajas en el contexto de las necesidades y recursos específicos de Exibal CIA. LTDA.

### **3.6 Determinar los requerimientos energéticos de la planta que puedan ser abastecidos mediante energía térmica proveniente de fuentes propias.**

#### **3.6.1 Revisión documental interna:**

- Se recolecta y analiza registros históricos de consumo energético de la planta (facturas de energía, reportes técnicos, registros de mantenimiento, etc.).
- Se identifican los procesos que actualmente requieren energía térmica (calentamiento de agua, procesos de cocción, secado, etc.).

#### **3.6.2 Visitas técnicas a la planta:**

- Se realiza recorridos por las instalaciones para observar in situ los equipos e infraestructuras que consumen energía térmica.
- Se registra ubicación, uso y tiempos de operación de estos equipos, además verifica condiciones actuales de uso energético y posibles puntos de mejora o sustitución.

#### **3.6.3 Entrevistas y encuestas a personal clave:**

- Se aplican entrevistas semiestructuradas a operadores, técnicos y responsables de producción y mantenimiento.
- Se formulan preguntas orientadas a identificar:  
Horarios de mayor consumo energético.

Problemas actuales relacionados al suministro térmico.

Posibles usos del biogás o del calor generado por un biodigestor.

#### **3.6.4 Análisis de datos energéticos:**

- Se cuantifica el consumo térmico de cada proceso identificado.
- Se calcula la demanda total térmica diaria/semanal/mensual.
- Se estima el potencial de sustitución de dicha demanda mediante energía generada por el biodigestor.

#### **3.6.5 Evaluación del potencial de cobertura:**

- Se compara los requerimientos energéticos determinados con el potencial energético del biodigestor (basado en insumos disponibles y rendimiento del sistema).
- Se identifica qué procesos pueden ser abastecidos total o parcialmente por el biodigestor.

### **3.7 Diseño de un biodigestor para la producción de biogás de manera sostenible**

#### **3.7.1 Identificación de la fuente**

- Se determina qué tipo de animales producirán el estiércol (vacas, cerdos, aves, etc.). Cada especie tiene una tasa de producción y composición de estiércol diferente.
- Se cuantifica el número exacto de animales de cada especie que contribuirán al biodigestor.
- Sistema de Manejo: Comprende cómo se recolecta el estiércol (manual, raspado mecánico, sistemas de lavado con agua). Esto afectará la cantidad de agua mezclada con las heces.
- Composición del estiércol: Los principales elementos de este estiércol (purín) son: Materia orgánica (M.O), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Cobre (Cu) y otros (Martínez, 2005).

**Tabla 7.** Composición media de estiércol frescos de diferentes animales domésticos

| <b>Nutrientes</b>                                      | <b>Vacunos</b> | <b>Porcinos</b> | <b>Caprinos</b> | <b>Conejos</b> | <b>Gallinas</b> |
|--------------------------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Materia orgánica                                       | 48.9           | 45.3            | 52.8            | 63.9           | 54.1            |
| Nitrógeno total (%)                                    | 1.27           | 1.36            | 1.55            | 1.94           | 2.38            |
| Fosforo Asimilable (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %) | 0.81           | 1.98            | 2.92            | 1.82           | 3.86            |

|                               |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|
| Potasio (K <sub>2</sub> O, %) | 0.84 | 0.66 | 0.74 | 0.95 | 1.39 |
| Calcio (CaO, %)               | 2.03 | 2.72 | 3.2  | 2.36 | 3.63 |
| Magnesio (MgO, %)             | 0.51 | 0.65 | 0.57 | 0.45 | 0.77 |

**Fuente:** Basaure, 2019.

### 3.7.2 Estimación de la producción diaria de estiércol por Animal.

Existe bibliografía con los valores promedio de producción diaria de estiércol por tipo de animal. Estos valores suelen expresarse en kilogramos (o litros) por animal por día.

**Tabla 8.** Estimación de producción diaria de estiércol por tipo de animal y potencial de metano

| Especie        | Peso Vivo | Kg Estiércol/día | %CH <sub>4</sub> |
|----------------|-----------|------------------|------------------|
| <b>Cerdos</b>  | 50        | 4.5 – 6          | 65 – 70          |
| <b>Vacunos</b> | 400       | 25 – 40          | 65               |
| <b>Equinos</b> | 450       | 12 – 16          | 65               |
| <b>Ovinos</b>  | 45        | 2.5              | 63               |

**Fuente:** Soria, 2009.

### 3.7.3 Especificación técnica

Se dimensiona los componentes del sistema: cámara de digestión, entrada y salida de residuos, sistema de recolección de biogás e incluir tecnologías complementarias como sistemas de calentamiento o almacenamiento de biogás, atendiendo las capacidades y necesidades de la planta considerando la disponibilidad comercial de los elementos para su selección (García, 2020).

**Tabla 9.** Relación agua - estiércol recomendada

| Tipo de animal | Estiércol: agua |
|----------------|-----------------|
| <b>Vacuno</b>  | 1: 1            |
| <b>Porcino</b> | 1: 2            |
| <b>Aves</b>    | 1: 3            |

**Fuente:** FAO, 2011.

#### **3.7.4 Diseño conceptual del biodigestor:**

- Se selecciona el tipo de reactor: Con base en las características del sustrato, la escala de operación y el espacio disponible, se selecciona el tipo de digestor anaeróbico más idóneo.

#### **3.7.5 Cálculos de dimensionamiento:**

- Se calcula el volumen requerido del biodigestor con base en la tasa de carga orgánica, el tiempo de retención hidráulica y la cantidad de residuos a procesar. Esto implica la aplicación de modelos estequiométricos y cinéticos relevantes para la digestión anaeróbica.
- Se estima el rendimiento potencial de biogás con base en las características del sustrato y la eficiencia del proceso de digestión.
- Cuantifica la producción de biogás necesaria para satisfacer estas demandas.
- Se determina el tamaño y las especificaciones adecuadas para otros componentes del sistema, como tuberías, bombas, tanques de almacenamiento.

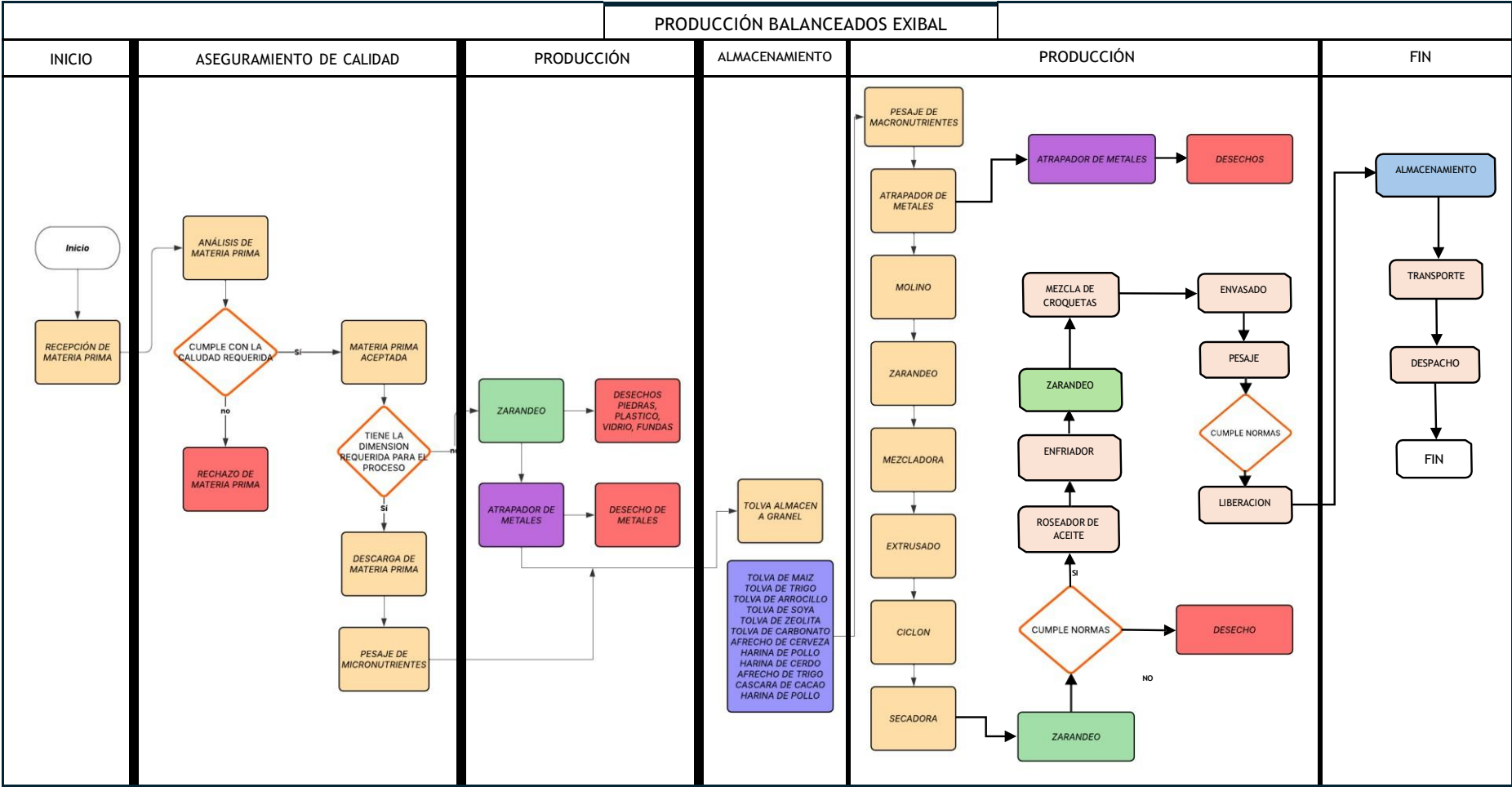
#### **3.7.6 Consideraciones de Sostenibilidad:**

- Se propone estrategias sostenibles para el manejo y aprovechamiento del digestato, considerando su potencial como biofertilizante o enmienda del suelo.

#### **3.7.7 Identificación la demanda energética de la Planta**

- Se realiza un análisis detallado de la demanda de energía térmica de la planta, sus patrones de consumo energético y clasificarlos por área o función para facilitar su organización.
- Para cada necesidad identificada, se estima la cantidad de energía térmica requerida. Esto se mide típicamente en Kilovatios térmicos (kWt) o Kilovatios por hora (kW/h).
- El proceso de cocción de alimentos requiere una cantidad específica de energía térmica.
- El calentamiento de agua dependerá del volumen y la temperatura deseada.

Figura 12. Diagrama de procesos de la planta EXIBAL CIA TLDA.



Fuente: EXIBAL, 2023.

### 3.7.8 Verificación de oferta y demanda energética de la planta

- Se asegura de que tanto la oferta de materia prima como la demanda de biogás estén expresadas en unidades que permitan una comparación significativa.

### 3.7.9 Cálculo del Potencial de Biogás:

- Se estima cuánto biogás se puede producir a partir de la materia prima disponible, se necesita datos sobre la tasa de producción de biogás por unidad de masa o volumen de estiércol (esto varía según el tipo de animal, la dieta y las condiciones del biodigestor).
- Para esto se recolecta información sobre la producción de metano ( $CH_4$ ) en cerdos y ganado vacuno, para poder calcular con mayor precisión el biogás que teóricamente se puede producir con el diseño.

**Tabla 10.** Producción final y teórica de metano ( $CH_4$ ) a partir de estiércol de cerdo

| Muestra                               | Producción última de metano $m^3CH_4/kgSV$ | Producción teórica de metano $m^3CH_4/kgSV$ | Biodegradabilidad                     |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|
|                                       |                                            | A partir de SV totales                      | A partir de SV fácilmente degradables |
| <b>Estiércol líquido</b>              | $0.29 \pm 0.06$                            | $0.45 \pm 0.01$                             | $0.35 \pm 0.02$                       |
| <b>Fracción sólida del estiércol</b>  | $0.12 \pm 0.02$                            | $0.43 \pm 0.00$                             | $0.32 \pm 0.00$                       |
| <b>Fracción líquida del estiércol</b> | $0.18 \pm 0.15$                            | $0.42 \pm 0.02$                             | $0.40 \pm 0.03$                       |

**Fuente:** Matulaitis et al., 2015.

**Tabla 11.** Producción final y teórica de metano ( $CH_4$ ) a partir de estiércol vacuno

| Muestra | Producción última de metano $m^3CH_4/kgSV$ | Producción teórica de metano $m^3CH_4/kgSV$ | Biodegradabilidad                     |
|---------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|
|         |                                            | A partir de SV totales                      | A partir de SV fácilmente degradables |

|                                                      |             |             |             |
|------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Estiércol líquido<br/>de ganado<br/>lechero</b>   | 0.20 ± 0.06 | 0.44 ± 0.01 | 0.31 ± 0.02 |
| <b>Estiércol sólido<br/>de ganado<br/>lechero</b>    | 0.21 ± 0.04 | 0.43 ± 0.10 | 0.29 ± 0.01 |
| <b>Purín de ganado<br/>lechero</b>                   | 0.05 ± 0.02 | 0.42 ± 0.01 | 0.36 ± 0.02 |
| <b>Estiércol sólido<br/>de ganado no<br/>lechero</b> | 0.21 ± 0.02 | 0.44 ± 0.02 | 0.30 ± 0.09 |

**Fuente:** Matulaitis et al., 2015.

### 3.7.10 Análisis de la Verificación:

#### ✓ Oferta Suficiente

- Si el potencial de biogás de la oferta es igual o mayor que la demanda de biogás, la cantidad de materia prima disponible podría ser suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de la planta.

#### ✓ Oferta Insuficiente

- Si la demanda de biogás es significativamente mayor que el potencial de la oferta, se deberá considerar otras fuentes de materia prima, reducir la demanda energética, o utilizar fuentes de energía complementarias.

#### ✓ Exceso de Oferta

- Si la oferta supera significativamente la demanda, se considera la posibilidad de modificar el uso del biogás o ajustar el tamaño del biodigestor.

## 3.8 Prototipo de laboratorio

### 3.8.1 Materiales

- Botellón de 10 L
- Guantes

- Botas
- Pala
- Tuberías
- Llaves de paso
- Termómetro infrarrojo

### **3.8.2 Método**

El prototipo construido (Ver en anexos) para las diferentes pruebas se lo hizo de la siguiente manera:

- Para el almacenado de la materia orgánica se escogió un bote de 10 L, en el cual se introdujo agua en su totalidad para descartar fugas.
- Se hizo un orificio a un lado de la tapa para introducir la tubería por la cual conduciría el biogás.
- En la tapa del botellón una vez listo todo se colocó una capa de cinta aislante para evitar cualquier entrada de oxígeno o fugas de biogás.
- En la tubería que conduce el biogás se colocó un tubo de una llanta donde se almacenara el biogás en el transcurso de los días.
- Al final de la tubería se colocó una llave de seguridad para la salida del biogás.

Una vez construido el prototipo se añadió los residuos orgánicos, para esta investigación se utilizó 1 kg de estiércol de vacuno y 1 kg de estiércol de porcino, se realizó la mezcla 1:2 con agua, la cual se la homogenizo en un recipiente aparte para posteriormente introducir esta mezcla en el prototipo, la cual se la sello con cinta aislante para una mayor seguridad.

## **3.9 Cuantificación de las muestras**

### **3.9.1 Materiales**

- Recipientes de recolección
- 1 pala para la recolección de los residuos orgánicos
- Guantes de plástico
- Mandiles
- Botas de caucho
- Balanza digital



### **3.9.2 Método**

La cuantificación se la determino de la siguiente manera:

- Con la ayuda de los recipientes se determinó el peso de la materia orgánica
- Se peso primeramente cada recipiente para poder tomar el peso exacto de cada estiércol
- Con una pala se colocó la materia orgánica en los recipientes
- Se coloco en la balanza digital y se anotó el peso de cada recipiente para obtener el peso total de la materia orgánica

### **3.10 Volumen de biogás**

#### **3.10.1 Materiales**

- Prototipo del biodigestor
- Guantes
- Probeta
- Soporte universal
- Recipiente

#### **3.10.2 Método**

Para la prueba experimental del biogás se utilizó el método de la probeta invertida (Ver en anexos), que según (Botero & Mariño, 2015), consiste en medir el gas por desplazamiento de agua, para lo cual se llenó la probeta con agua y se la colocó de manera invertida en un recipiente con agua cuidando que no se llene de burbujas de aire, se ajustó la altura de la probeta invertida con el soporte universal. Una vez listo se introdujo la manguera que sale del prototipo del biodigestor en la probeta para poder observar y cuantificar cuanto volumen de gas se produjo en los 30 días de experimento. Además de controlar la temperatura debido a que son las condiciones en las que se desarrolló la investigación.

## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Identificar y seleccionar las fuentes de energía alternativa que la planta dispone para su viabilidad inmediata.**

Aunque en el diagrama de procesos de EXIBAL (Figura 12) no se identifican de forma directa residuos o subproductos de biomasa asociados a la línea principal de producción, la planta dispone de instalaciones tipo granja en las que se mantienen distintas especies animales para la evaluación y validación de sus balanceados. Estas actividades generan residuos orgánicos, principalmente excretas, que pueden ser aprovechados como una fuente potencial de biomasa.

En este sentido, la biomasa se consideró como una alternativa energética viable debido a su disponibilidad dentro de la propia planta y a su carácter renovable. El aprovechamiento de estos residuos para la producción de biogás permitiría darles un uso adecuado, transformando un residuo en un recurso energético útil. Además, esta alternativa contribuye a reducir los posibles impactos ambientales asociados a una disposición inadecuada de los desechos orgánicos, como la contaminación del suelo o del agua y las afectaciones a la cadena trófica del área de influencia directa. De esta manera, la elección de la biomasa responde no solo a criterios técnicos y energéticos, sino también al interés de la empresa por fortalecer una gestión ambiental más responsable y sostenible.

**Tabla 12.** Tabla de porcentajes destinados a los correspondientes ítems

| Fuente de Energía | Ponderación (%) |           |     |                                 |           |            |           |                           | Total |
|-------------------|-----------------|-----------|-----|---------------------------------|-----------|------------|-----------|---------------------------|-------|
|                   | Eficiencia      | Inversión | O&M | Disponibilidad y sostenibilidad | Ambiental | Fiabilidad | Vida útil | Espacio e infraestructura |       |
| <b>Biomasa</b>    | 15              | 30        | 20  | 5                               | 10        | 5          | 10        | 5                         | 100   |
| <b>Solar</b>      | 15              | 30        | 20  | 5                               | 10        | 5          | 10        | 5                         | 100   |
| <b>Eólica</b>     | 15              | 30        | 20  | 5                               | 10        | 5          | 10        | 5                         | 100   |

**Nota:** O&M: Operación y mantenimiento

**Tabla 13.** Valoración de cada parámetro en una escala de 1 al 5.

| Fuente de Energía | Valoración |           |     |                                 |           |            |           |                           |
|-------------------|------------|-----------|-----|---------------------------------|-----------|------------|-----------|---------------------------|
|                   | Eficiencia | Inversión | O&M | Disponibilidad y sostenibilidad | Ambiental | Fiabilidad | Vida útil | Espacio e infraestructura |
| <b>Biomasa</b>    | 4          | 4         | 5   | 5                               | 5         | 4          | 5         | 4                         |
| <b>Solar</b>      | 4          | 4         | 4   | 2                               | 3         | 4          | 5         | 3                         |
| <b>Eólica</b>     | 3          | 4         | 5   | 2                               | 3         | 3          | 5         | 1                         |

#### **Ecuación 1.** Cálculo del puntaje total

$$\text{Puntaje total} = \sum(\text{Valoración} \times \text{Ponderación})$$

**Tabla 14.** Tabla final de la valoración de cada parámetro en función de la ecuación.

| Fuente de Energía | Calificación Final |           |     |                                 |           |            |           |                           | Total, sobre 500 |
|-------------------|--------------------|-----------|-----|---------------------------------|-----------|------------|-----------|---------------------------|------------------|
|                   | Eficiencia         | Inversión | O&M | Disponibilidad y sostenibilidad | Ambiental | Fiabilidad | Vida útil | Espacio e infraestructura |                  |
| <b>Biomasa</b>    | 60                 | 120       | 100 | 25                              | 50        | 20         | 50        | 20                        | 445              |
| <b>Solar</b>      | 60                 | 120       | 80  | 10                              | 30        | 20         | 50        | 15                        | 385              |
| <b>Eólica</b>     | 45                 | 120       | 100 | 10                              | 30        | 15         | 50        | 5                         | 375              |

**Fuente:** FAO, 2020.

#### **4.1.1 Discusión de resultados**

##### **Fuente principal seleccionada: Biomasa**

En función del objetivo de identificar y seleccionar las fuentes de energía alternativa que la planta dispone para su viabilidad inmediata, se desarrolló una metodología multicriterio que permitió evaluar diversas alternativas energéticas: biomasa, solar y eólica, considerando parámetros técnicos, económicos, ambientales y de factibilidad operativa.

Para la valoración, se establecieron porcentajes específicas por criterio (Tabla 12), asignadas en función de la importancia relativa que cada uno representa para el contexto operativo de la empresa. Posteriormente, se valoraron cualitativamente (Tabla 13) y se multiplicaron por sus ponderaciones para obtener el puntaje final de cada alternativa (Tabla 14).

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 14, la fuente de energía con mayor puntuación total fue la biomasa, con un puntaje de 445, superando a las demás opciones solar y eólica.

La biomasa destacó particularmente en los parámetros ambientales. Además, obtuvo una alta calificación en disponibilidad y sostenibilidad, lo que es coherente con el contexto de la empresa, donde existe un acceso cercano a residuos orgánicos aprovechables como materia prima.

**Tabla 15.** Tabla de porcentajes destinados a la comparación de las fuentes energéticas principales

| Fuente de Energía | Ponderación (%) |           |     |                                 |           |            |           |                           | Total |
|-------------------|-----------------|-----------|-----|---------------------------------|-----------|------------|-----------|---------------------------|-------|
|                   | Eficiencia      | Inversión | O&M | Disponibilidad y sostenibilidad | Ambiental | Fiabilidad | Vida útil | Espacio e infraestructura |       |
| <b>Biomasa</b>    | 15              | 30        | 20  | 5                               | 10        | 5          | 10        | 5                         | 100   |
| <b>GLP</b>        | 15              | 30        | 20  | 5                               | 10        | 5          | 10        | 5                         | 100   |

**Tabla 16.** Valoración de cada parámetro en una escala del 1 al 5.

| Fuente de Energía | Valoración |           |     |                                 |           |            |           |                           |
|-------------------|------------|-----------|-----|---------------------------------|-----------|------------|-----------|---------------------------|
|                   | Eficiencia | Inversión | O&M | Disponibilidad y sostenibilidad | Ambiental | Fiabilidad | Vida útil | Espacio e infraestructura |
| <b>Biomasa</b>    | 4          | 4         | 5   | 5                               | 5         | 4          | 5         | 4                         |
| <b>GLP</b>        | 5          | 5         | 5   | 1                               | 1         | 4          | 4         | 5                         |

**Tabla 17.** Tabla final de la valoración entre la energía alternativa y convencional

| Fuente de Energía | Calificación Final |           |     |                                 |           |            |           |                           | Total, sobre 500 |
|-------------------|--------------------|-----------|-----|---------------------------------|-----------|------------|-----------|---------------------------|------------------|
|                   | Eficiencia         | Inversión | O&M | Disponibilidad y sostenibilidad | Ambiental | Fiabilidad | Vida útil | Espacio e infraestructura |                  |
| <b>Biomasa</b>    | 60                 | 120       | 100 | 25                              | 50        | 20         | 50        | 20                        | 445              |
| <b>GLP</b>        | 75                 | 150       | 100 | 5                               | 10        | 20         | 40        | 25                        | 425              |

Fuente: FAO, 2020.

Aunque el GLP presentó un puntaje cercano (420), su baja puntuación en el parámetro ambiental y en disponibilidad lo hacen menos sostenible como solución a largo plazo. Por lo tanto, en concordancia con los datos analizados y la se concluye que la biomasa representa la alternativa energética más adecuada y viable para su implementación inmediata, garantizando eficiencia operativa, sostenibilidad ambiental y factibilidad económica.

La comparación entre el GLP y la Biomasa evidencia que este último constituye una alternativa energética más sostenible y acorde con las políticas de transición hacia energías limpias adoptadas por la empresa. El biogás, generado a partir de residuos orgánicos, no solo permite producir energía renovable, sino que además contribuye a una gestión ambiental más responsable, al evitar la liberación directa de metano y disminuir de forma significativa las emisiones de gases de efecto invernadero. Su implementación también impulsa modelos de economía circular, ya que facilita el aprovechamiento integral de residuos y la generación de subproductos útiles como fertilizantes.

Aunque el GLP continúa siendo un combustible accesible y de fácil transporte, su origen fósil y su limitado aporte a la sostenibilidad lo posicionan por debajo del biogás en términos de impacto ambiental y eficiencia a largo plazo. En este sentido, la adopción de la biomasa fortalece la autonomía energética de la empresa y refuerza su compromiso con prácticas productivas responsables y ambientalmente confiables.

## 4.2 Determinar las demandas energéticas de la planta que puedan ser abastecidos mediante energía térmica proveniente de fuentes propias

### 4.2.1 Requerimiento energético de la planta EXIBAL CIA. LTDA.

#### Datos:

- 4 duchas eléctricas convencionales
- 110V y, 3,95 kW de potencia.
- Se tiene una cocina industrial para alimentar al personal de la planta en dos horarios (7:00 am y 13:00 pm)

#### Resultados:

Teniendo en cuenta que 30 trabajadores máximo utilizan las duchas al mes, con un tiempo de 10 min.

$$10 \text{ min} * \frac{1h}{60min} = 0,167h$$

#### Ecuación 2.

*Energía usada por una ducha en 10 minutos*

$$E_{1\_ducha} = Potencia * Tiempo$$

$$E_{1\_ducha} = 0,66kWh$$

$$0,66kWh * (30 \text{ trabajadores}) = 19,8kWh /mes$$

- La energía total para 30 personas al mes en caso de que cada ducha sea en distinto momento es de 19,8 kWh/mes.

#### Ecuación 3.

*Energía usada por las 4 duchas de manera simultanea*

$$E_{4\_duchas} = Potencia * \# \text{ de duchas}$$

$$E_{4\_duchas} = 15,80 kW$$

$$15,80 kW * (30 \text{ trabajadores}) = 474kW$$

$$474kW * 0,167h = 79,15 kWh/mes$$

- La energía total para 30 personas al mes en caso de que las duchas se utilicen de manera simultánea es de 79,15 kWh/mes.

Para abastecer la cocina el requerimiento de energía térmica es:

#### Datos

- 1 bombona de GLP dura 6 días aproximadamente

- 1 bombona de GLP de 12.5 Kg equivale a 12,79 kWh/kg de energía térmica (Mirica et al., 2016).
- 5 bombonas al mes

## Resultados

### Ecuación 4.

*Energía térmica de la cocina*

$$E_{cocina} = \text{Energía térmica} * \# \text{ Bombonas}$$

$$E_{cocina} = 795 \text{ kWh/mes}$$

### Ecuación 5.

*Energía total requerida*

Total, del requerimiento energético para la planta EXIBAL CIA. LTDA. que se puedan cubrir con fuentes propias

$$Total = E_{\text{ duchas}} + E_{cocina}$$

$$Total = \frac{874,15 \text{ kWh}}{\text{mes}}$$

#### 4.2.2 Discusión de resultados

Para cumplir con este objetivo, se aplicó una metodología combinada que incluyó revisión documental, visitas técnicas, entrevistas y análisis energético detallado. Gracias a esto, fue posible identificar con precisión los procesos que actualmente demandan energía térmica en la planta, principalmente el área de duchas para el personal y la cocina industrial.

Los cálculos muestran que las duchas representan un consumo estimado entre 19,8 kWh/mes (si se usan en horarios distintos) y 79,16 kWh/mes (si se usan simultáneamente). Aunque es una necesidad constante, su impacto en el total de la demanda térmica mensual es bajo.

En contraste, el área de cocina consume 795 kWh/mes, lo cual representa más del 90% del requerimiento térmico total de la planta, que asciende a 874,15 kWh/mes. Este resultado confirma que la cocina es el principal foco de consumo térmico, debido a su funcionamiento diario y a la preparación de alimentos para todo el personal.

Debido a que la cocina representa el 90%, este diseño se enfoca directamente en el funcionamiento térmico de la cocina, dejando de lado el 10% correspondiente a las duchas ya que requieren de un cambio tecnológico y representa un costo elevado la transformación de energía térmica a energía eléctrica.



Este análisis es clave porque define con exactitud cuánta energía térmica se necesita generar para sustituir el uso actual de electricidad y gas en los procesos internos. Saber que la demanda total es de 874,15 kWh/mes, y que la cocina representa el mayor consumo con 795 kWh/mes, permite establecer una orientación de diseño para el biodigestor.

Con estos datos, se podrá dimensionar correctamente un biodigestor que cubra el consumo de cocina. Esto asegura que el diseño no sea una estimación general, sino una solución energética ajustada a la realidad operativa de la planta, con un alto potencial de aplicación y sostenibilidad.

### 4.3 Diseñar un biodigestor para la producción de biogás de manera sostenible.

Debido a que los vacunos se desplazan constantemente y no permanecen en un área definida, la recolección de sus excretas resulta operativamente compleja, ya que requeriría la asignación de personal adicional para esta labor. Por esta razón y luego de la respectiva entrevista al personal sobre la recolección, se optó por trabajar exclusivamente con estiércol porcino, el cual cuenta con una infraestructura adecuada que facilita su recolección, manejo y aprovechamiento en el sistema propuesto.

#### 4.3.1 Cálculo del volumen

##### Datos:

- Numero de cerdos: 48
- Tasa de estiércol de cerdos: 4,5 kg/d
- Temperatura promedio de la zona: 20°C
- Tiempo de retención hidráulica: 30 días
- Relación agua – estiércol: 2:1

##### Resultados:

##### Ecuación 6.

*Carga diaria de estiércol de cerdos*

$$\text{Carga diaria} = \# \text{ de cerdos} * \text{tasa de esiercol}$$

$$\text{Carda diaria} = 216 \text{ kg/d}$$

##### Ecuación 7.

*Relación agua - estiércol 2:1*

$$\text{Relación} = \text{carga diaria} * 3$$

$$\text{Relación} = 648 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{Relación} = 0,648 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

##### Ecuación 8.

*Volumen del biodigestor para el dimensionamiento*

$$V = \text{Carga diaria} * \text{TRH}$$

##### Donde:

**TRH:** Tiempo de retención hidráulica: 30 días

$$V = 19,44 \text{ m}^3$$

Se realiza el cálculo de un 15% más al volumen para posibles aumentos en cuanto a la carga diaria:

$$V = 22,36 \text{ m}^3$$

#### 4.3.2 Cálculo de las dimensiones del biodigestor

**Datos:**

- Base inferior (B1): 2 m
- Base superior (B2): 3,5 m
- Altura (h): 2 m

**Ecuación 9.**

*Área de la sección trapezoidal*

$$A = (B1 + B2)/2 * h$$

$$A = 5,5 \text{ m}^2$$

**Ecuación 10.**

*Cálculo de la longitud*

$$L = V/A$$

$$L = 4,06 \text{ m}$$

**Ecuación 11.**

*Cálculo del área de la geomembrana*

$$A = B2 * L$$

$$A = 14,23 \text{ m}^2$$

Se calculo el 15% más de esta área para los respectivos anclajes y expansión:

$$A = 16,36 \text{ m}^2$$

**Ecuación 12.**

*Cálculo del desplazamiento horizontal de B2 a B1*

$$r = (B2 - B1)/2$$

$$r = 0,75 \text{ m}$$

**Ecuación 13.**

*Cálculo del ángulo de inclinación*

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\text{cateto } Op}{\text{cateto } Ad}\right)$$

$$\alpha = 69,44^\circ$$

**Ecuación 14.**

*Cálculo de la longitud inclinada de la pared lateral*

$$s = \sqrt{h^2 + r^2}$$

$$s = 2,14 \text{ m}$$

**Ecuación 15.**

*Cálculo del área de cada lateral inclinada*

$$A = s * L$$

$$A = 8,68 \text{ m}^2$$

### 4.3.3 Cálculo de solidos totales (ST) y solidos volátiles (SV)

**Datos:**

- Solidos totales (ST) en estiércol porcino: 16%
- Solidos volátiles (SV): 70% de los ST

**Ecuación 16.**

*Cálculo de los ST*

**- Porcinos:**

$$ST_{cerdos} = \text{Carga diaria cerdos} * 0,16$$

$$ST_{cerdos} = 34,56 \frac{kg_{ST}}{d}$$

**Ecuación 17.**

*Cálculo de los SV*

**- Porcino:**

$$SV_{cerdos} = ST_{cerdos} * 0,70$$

$$SV_{cerdos} = 24,19 \frac{kg_{SV}}{d}$$

### 4.3.4 Cálculo del volumen de biogás

**Datos:**

- El  $CH_4$  es el 65% del biogás

- Potencial de metano:  $0,25 \frac{m^3 CH_4}{kg SV}$

**Ecuación 18.**

*Cálculo de metano*

$$CH_4 = SV * \text{Potencial de metano}$$

$$CH_4 = 6,05 \frac{m^3 CH_4}{d}$$

**Ecuación 19.**

*Cálculo de Biogás*

$$\text{Biogas} = \frac{CH_4}{0,65}$$

$$\text{Biogas} = 9,30 \frac{m^3}{d}$$

**4.3.5 Cálculo del tanque de almacenamiento**

Para este cálculo se debe tener en cuenta una holgura para así evitar cualquier accidente si existen variaciones diarias, esta puede ser de un 15 o 20%.

**Ecuación 20.**

*Volumen del tanque de almacenamiento*

$$V = \text{Biogas} * 15\%$$

$$V = 10,70 m^3$$

Cálculo de dimensiones de tanque rígido horizontal cilíndrico:

**Datos:**

- Diámetro: 2 metros
- Volumen:  $10,70 m^3$

**Ecuación 21.**

*Área del tanque de almacenamiento*

$$\text{Area} = \pi \left( \frac{D^2}{4} \right)$$

$$\text{Area} = 3,14 m^2$$

**Ecuación 22.**

Longitud del tanque de almacenamiento

$$Longitud = \frac{Volumen}{Area}$$

$$Longitud = 3,41 \text{ m}$$

#### 4.3.6 Cálculo de la energía térmica

**Datos:**

- 1 m<sup>3</sup> de biogás = 5 kWh térmicos

**Ecuación 23.**

Energía térmica potencial

$$E_{th,dia} = Biogas * Potencial \text{ kWh}$$

$$E_{th,dia} = 46,52 \frac{kWh}{d}$$

$$E_{th,mes} = 1395,69 \frac{kWh}{mes}$$

- Se puede decir que la energía que podría producir el biodigestor cubre altamente la demanda energética prevista en la planta Exibal.

**Tabla 18.** Resumen de parámetros del diseño.

| Parámetro                           | Unidad         | Valor<br>estimado/Característica                |
|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------|
| Tipo de biodigestor                 | -              | Anaerobio, tipo trapezoidal<br>con geo membrana |
| Volumen biodigestor                 | m <sup>3</sup> | 22,36                                           |
| Base superior                       | m              | 3,5                                             |
| Base inferior                       | m              | 2                                               |
| Altura total                        | m              | 2                                               |
| Longitud                            | m              | 4,06                                            |
| Volumen tanque de<br>almacenamiento | m <sup>3</sup> | 10,70                                           |
| Diámetro                            | m              | 2                                               |
| Longitud                            | m              | 3,41                                            |
| Relación agua: sustrato             | -              | 2:1                                             |

|                                               |           |         |
|-----------------------------------------------|-----------|---------|
| <b>Producción diaria de <math>CH_4</math></b> | $m^3/día$ | 6,05    |
| <b>Producción diaria de biogás</b>            | $m^3/día$ | 9,30    |
| <b>Energía térmica diaria</b>                 | $kWh/día$ | 46,52   |
| <b>Energía térmica mensual</b>                | $kWh/mes$ | 1395,69 |

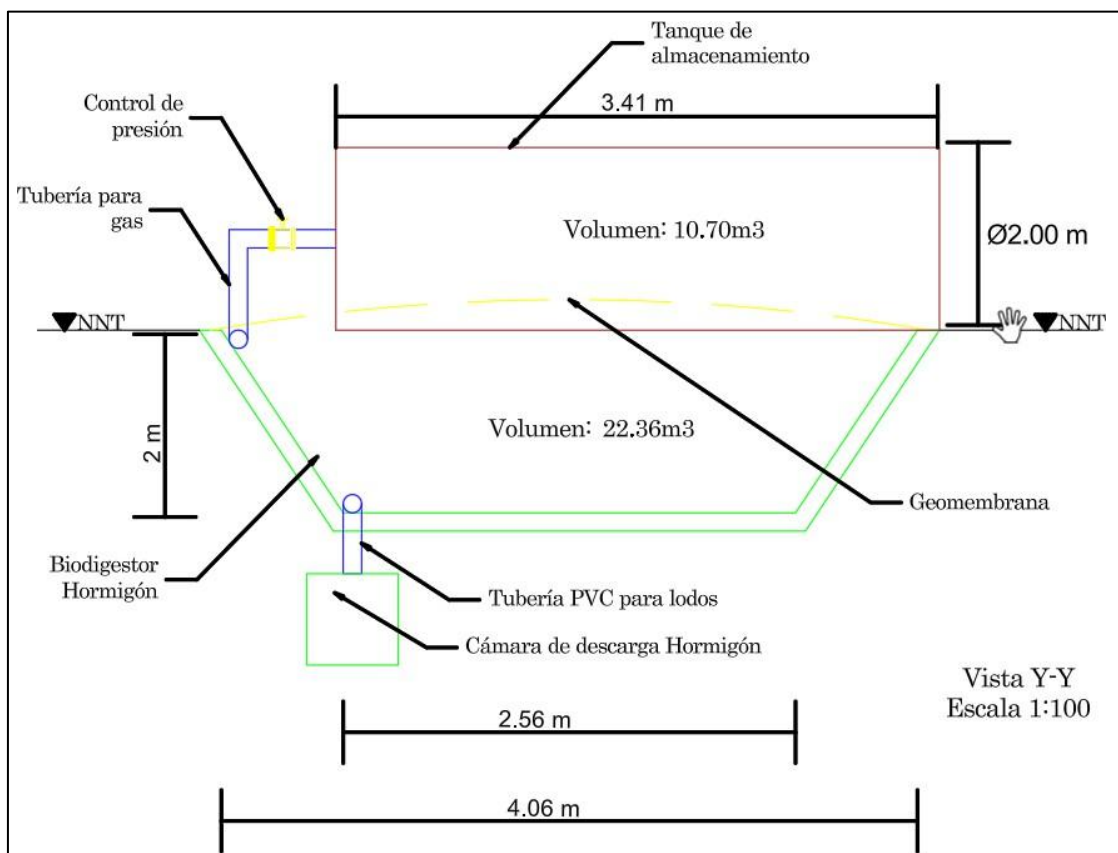
**Fuente:** Autores

#### 4.3.7 Discusión de resultados

El diseño del biodigestor propuesto surge de la necesidad de aprovechar los residuos orgánicos generados en la actividad porcina, con el propósito de producir biogás y cubrir los requerimientos energéticos de la empresa. El sistema fue diseñado con un enfoque anaerobio, empleando una mezcla de estiércol porcino en una relación de agua 2:1. Este tipo de digestión permite un aprovechamiento eficiente de la materia orgánica, al transformar los sólidos volátiles en metano mediante la acción de microorganismos anaerobios. De esta forma, se obtiene una fuente de energía renovable que puede ser utilizada directamente en la planta, reduciendo la dependencia de la energía convencional y los costos asociados.

La Figura 13 muestra la vista lateral del diseño del biodigestor y del tanque de almacenamiento, esta imagen fue elaborada mediante el software Autodesk AutoCAD y representa de forma clara la distribución geométrica y dimensiones estructurales de las mismas, que fueron definidas con base al dimensionamiento dado en la Tabla 18 posteriormente entregada.

**Figura 13.** Vista Lateral de la propuesta del Biodigestor



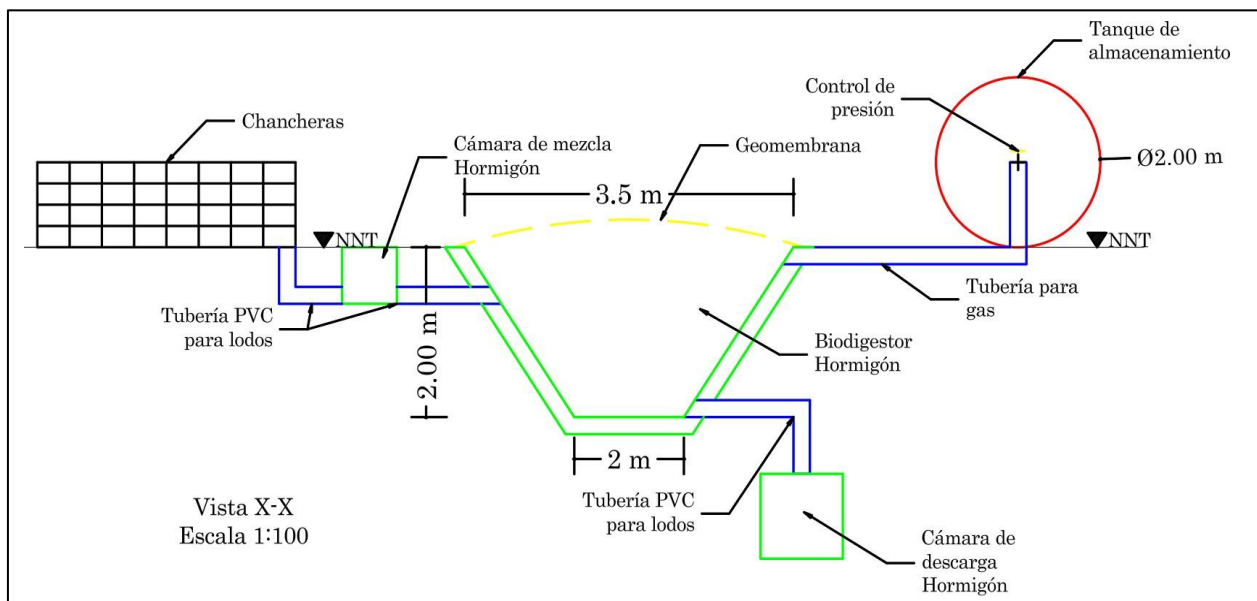
**Fuente:** Autores

El biodigestor diseñado tiene un volumen útil total de 22,36  $m^3$ , adoptando una forma trapezoidal que permite una mejor distribución del sustrato y facilita la instalación de una cubierta flexible tipo geomembrana. Las dimensiones establecidas corresponden a una base superior de 3,50 m, una base inferior de 2,00 m y una altura de 2,00 m, configurando un tanque estable y de fácil construcción.

La Figura 14 presenta la vista frontal del diseño, representada gráficamente mediante Autodesk AutoCAD. En este plano se destacan las dimensiones horizontales y verticales del biodigestor. También se puede visualizar la sección de las tuberías por donde fluye el sustrato hacia la cámara de mezcla, para posteriormente ingresar al biodigestor, también la tubería para la descarga de lodos que se dirige a un tanque de almacenamiento de lodos para que su manejo sea más práctico.



**Figura 14.** Vista frontal de la propuesta del biodigestor y tanque de almacenamiento.



**Fuente:** Autores

Esta geometría ofrece ventajas tanto estructurales como funcionales, ya que mejora la estabilidad del material dentro del digestor y permite que la geomembrana superior actúe como reservorio de gas, adaptándose a los cambios de presión interna.

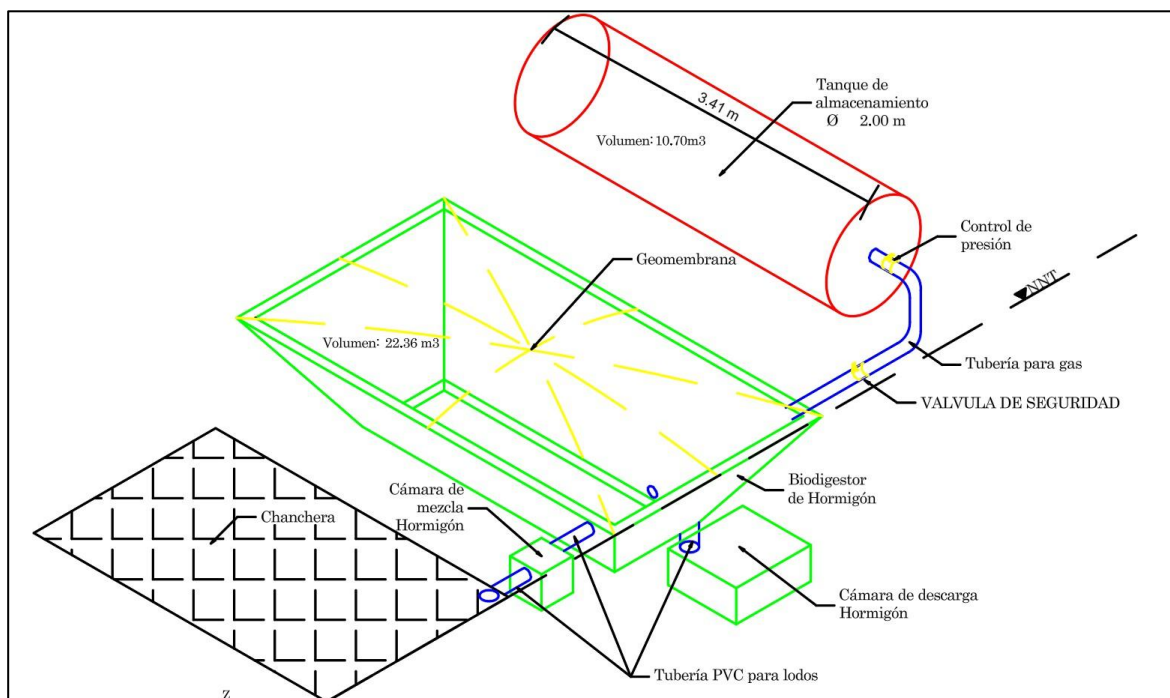
En base al contenido de sólidos volátiles disponible, se estima una producción diaria de 6,05  $m^3$  de metano ( $CH_4$ ), equivalente a 9,30  $m^3$  de biogás con una composición promedio del 65% de metano. Esta generación se traduce en una energía térmica aproximada de 46,52 kWh por día, lo que representa 1359,69 kWh térmicos al mes, valores que superan la demanda actual de la empresa, estimada en  $800 \frac{kWh}{mes}$ . Por lo tanto, el sistema presenta una oferta energética excedente, la cual puede aprovecharse en otras operaciones internas.

El diseño considera además la posibilidad de variaciones operativas, como una recolección incompleta del estiércol o fluctuaciones estacionales en la producción. Aun en un escenario donde solo se recolecte el 40% del sustrato estimado, la energía generada seguiría superando las necesidades de la planta, lo que garantiza la sostenibilidad del sistema y su operación eficiente a largo plazo. Esta condición de sobredimensionamiento no representa un desperdicio, sino una ventaja técnica y estratégica, ya que asegura que el biodigestor no quede obsoleto con el paso de los años y pueda adaptarse a un eventual incremento en la disponibilidad de materia prima o en el consumo energético de la empresa.

La Figura 15 presenta la vista aérea del diseño, representada gráficamente mediante Autodesk AutoCAD. En este plano se destacan los volúmenes del biodigestor y del tanque de almacenamiento. También se puede visualizar la sección de las tuberías con su respectivo

manómetro para el control de presión por donde fluye el gas, para posteriormente ingresar al tanque de almacenamiento.

**Figura 15.** Vista aérea del diseño.

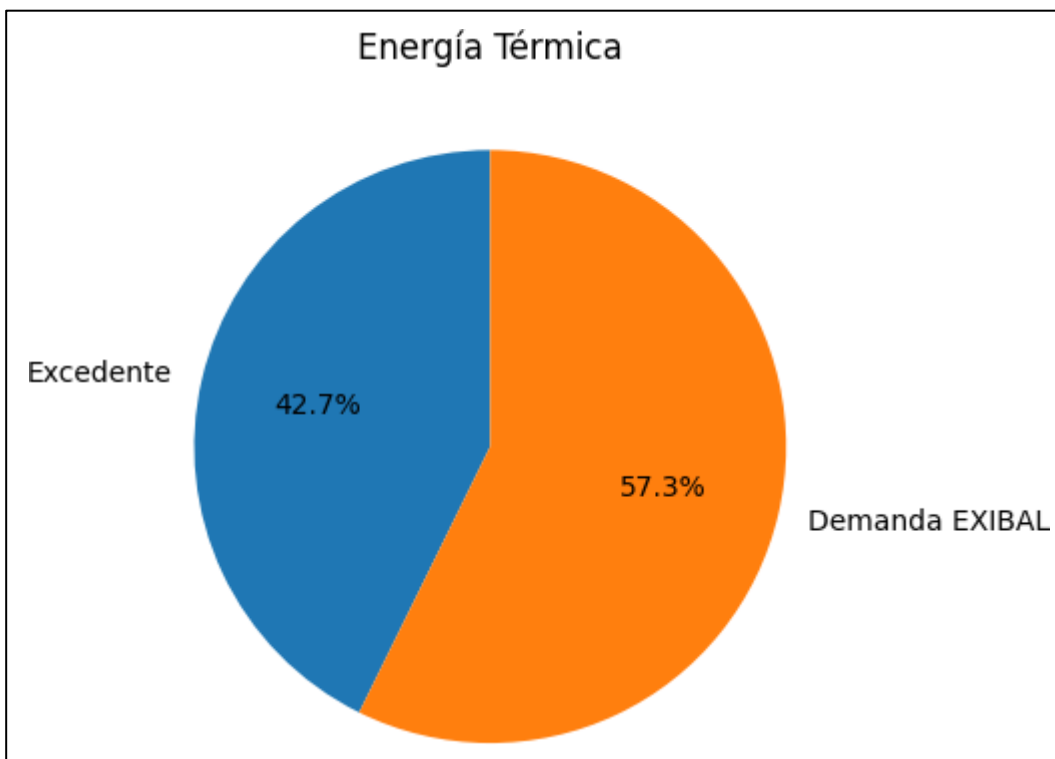


**Fuente:** Autores

Desde el punto de vista técnico, el uso de una geomembrana como tapa flexible facilita el almacenamiento temporal del biogás, reduciendo la necesidad de un tanque de gas independiente de gran capacidad. Sin embargo, en caso de requerirse mayor autonomía o continuidad operativa, se diseñó un sistema adicional de almacenamiento con capacidad aproximada de  $10,70 \text{ m}^3$ . De esta manera, el sistema conserva la versatilidad necesaria para responder a los picos de generación y asegurar el suministro energético en los momentos de mayor demanda.

En la figura 16 se puede observar un análisis de la energía térmica, siendo de color azul la demanda calculada anteriormente que representa un uso del 57% de la energía térmica mensual que puede llegar a generar el biodigestor, teniendo así un excedente o sobrante del 42% que la empresa puede aprovechar para distintos fines y se evidencia que esta propuesta de diseño cubre ampliamente la demanda propuesta de la empresa.

**Figura 16.** Ilustración de la energía térmica.



**Fuente:** Autores

También, el aprovechamiento del biogás representa no solo una solución energética sostenible, sino también un aporte significativo a la gestión ambiental de la empresa. La captura y uso del metano evita su liberación a la atmósfera, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorando el desempeño ambiental de las operaciones. A su vez, el digestato o biol resultante puede emplearse como biofertilizante.

La extracción del biol en el biodigestor se realiza de manera automática por desplazamiento hidráulico, de modo que, por cada volumen de sustrato alimentado diariamente, saldría un volumen equivalente de digestato por la tubería de descarga, sin la necesidad de abrir el reactor ni interrumpir las condiciones anaerobias. El biol es conducido por gravedad hacia un tanque de almacenamiento desde donde puede ser utilizado como fertilizante líquido.

El mantenimiento rutinario incluye la revisión de las tuberías, válvulas, geomembrana y sistema de conducción de gas, así como la limpieza externa de la cada de salida de. Cada varios años de operación, puede ser necesaria una limpieza mayor para retirar sedimentos pesados acumulados en el fondo del reactor, este procedimiento se lo debe realizar bajo condiciones de seguridad y con el biodigestor fuera de operación.

#### **4.4 Viabilidad del proyecto**

Para determinar la viabilidad económica y ambiental del proyecto, se realizó un análisis de los beneficios de la implementación de proyectos de fuentes de energía alternativa y una

estimación detallada de los costos asociados a la construcción e implementación del biodigestor de excretas porcino.

#### **4.4.1 Viabilidad ambiental**

Los beneficios de las certificaciones ambientales en el Ecuador tienen como propósito ser una guía para las empresas en el ámbito ambiental, las certificaciones otorgan beneficios desde distintos puntos de vista, ecológico, empresarial, motivando a implementar estrategias para que se cumplan procesos más limpios, así ayudando a la mejora ambiental.

El ministerio del ambiente del Ecuador (MAE) incentiva a mejorar el medio ambiente otorgando dos certificaciones ambientales, la certificación carbono neutro y la certificación punto verde, con el objetivo de incentivar a emplear nuevas y mejores prácticas productivas. Esta certificación es una herramienta para fomentar la competitividad del sector industrial y de servicios, comprometiéndolos con la conservación y protección del ambiente (MAE, 2018).

El proyecto puede aplicar a la obtención del certificado punto verde, obteniendo beneficios como el uso del logo “Punto Verde” en todos sus productos y marketing en general, mejorar su imagen, mayor confianza con una gestión ambiental responsable, aceptación del producto por parte del consumidor, ya que aprovecha los residuos que liberan contaminantes a la atmósfera, dándoles un nuevo uso y aprovechando la energía que estos pueden generar mediante procesos naturales.

Para la obtención del certificado se realiza una comparación de indicadores, durante mínimo dos años de ejecución del proyecto, tiene distintos ejes temáticos como la gestión de desechos, uso eficiente de agua y energía, disminución en el uso de combustibles fósiles, capacitación y compras responsables (MAE, 2018).

#### **4.4.2 Viabilidad económica**

La Tabla 19 muestra el detalle de los principales rubros que conforman el presupuesto total del proyecto, donde se agrupan las actividades por unidades funcionales y se asignan valores referenciales con base en precios actuales del mercado local. En este análisis se consideran tanto los costos directos de materiales, mano de obra y equipos, como los costos indirectos relacionados con la gestión del proyecto, el movimiento de tierras y las obras complementarias necesarias para la implementación completa del sistema.

A partir de los resultados obtenidos, se observa que la inversión requerida para el diseño e implementación del biodigestor no resulta económicamente favorable frente al costo actual del Gas Licuado de Petróleo (GLP) en el Ecuador, lo que reduce su viabilidad económica en el corto plazo.

**Tabla 19. Análisis estimado de costos**

| <b>BIODIGESTOR EXIBAL</b>                      |                                                     |                |          | \$       | \$ 4,266.79 | TOTAL                                   |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------|----------|----------|-------------|-----------------------------------------|
| <b>1. Obras preliminares</b>                   |                                                     |                |          |          |             |                                         |
| Cod                                            | Descripción del rubro                               | Unidad         | Cantidad | \$       | \$          | Observaciones                           |
| 1.1                                            | Limpieza y nivelación del terreno                   | m <sup>2</sup> | 100      | \$ 1.02  | \$ 102.00   | Retiro de desechos, nivelación manual   |
| 1.2                                            | Trazado y replanteo del biodigestor                 | m              | 100      | \$ 1.46  | \$ 146.00   | Incluye ejes y referencias topográficas |
| <b>2. Obra civil</b>                           |                                                     |                |          |          |             |                                         |
| Cod                                            | Descripción del rubro                               | Unidad         | Cantidad | \$       | \$          | Observaciones                           |
| 2.1                                            | Excavación para cámara de mezcla y biodigestor      | m <sup>3</sup> | 45       | \$ 6.25  | \$ 281.25   | Excavación manual o mecánica            |
| 2.2                                            | Conformación de base compactada                     | m <sup>2</sup> | 30       | \$ 5.50  | \$ 165.00   | Grava o suelo seleccionado compactado   |
| 2.3                                            | Encofrado y vaciado de losa base                    | m <sup>3</sup> | 10       | \$126.28 | \$ 1,262.80 | Concreto f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>     |
| 2.4                                            | Construcción de cámara de mezcla                    | m <sup>3</sup> | 1        | \$ 30.94 | \$ 30.94    | Mampostería u hormigón simple           |
| 2.5                                            | Construcción de cámara de descarga                  | m <sup>3</sup> | 1        | \$ 30.94 | \$ 30.94    | Mampostería u hormigón simple           |
| 2.6                                            | Canalización de conducción de lodos                 | m              | 5        | \$ 1.25  | \$ 6.25     | Tubería PVC Ø 4" o similar              |
| 2.7                                            | Zanja para conducción de gas                        | m              | 5        | \$ 6.25  | \$ 31.25    | Profundidad aprox. 0.50 m               |
| 2.8                                            | Base de soporte para tanque de almacenamiento       | m <sup>2</sup> | 5        | \$ 30.94 | \$ 154.70   | Hormigón armado o estructura metálica   |
| <b>3. Estructura principal del biodigestor</b> |                                                     |                |          |          |             |                                         |
| Cod                                            | Descripción del rubro                               | Unidad         | Cantidad | \$       | \$          | Observaciones                           |
| 3.1                                            | Suministro e instalación de geomembrana impermeable | m <sup>2</sup> | 20       | \$ 4.00  | \$ 80.00    | Geomembrana HDPE                        |
| 3.2                                            | Conexión y sellado de geomembrana en juntas         | m              | 10       | \$ 2.50  | \$ 25.00    | Soldadura térmica o vulcanizado         |
| <b>4. Sistema de tuberías y accesorios</b>     |                                                     |                |          |          |             |                                         |
| Cod                                            | Descripción del rubro                               | Unidad         | Cantidad | \$       | \$          | Observaciones                           |
| 4.1                                            | Tubería de lodos (entrada/salida) PVC Ø4"           | m              | 10       | \$ 7.95  | \$ 79.50    | Incluye codos y uniones                 |
| 4.2                                            | Tubería de gas PVC Ø2" o Ø3"                        | m              | 10       | \$ 7.95  | \$ 79.50    | Desde biodigestor al tanque             |

|     |                                       |    |   |          |           |                                |
|-----|---------------------------------------|----|---|----------|-----------|--------------------------------|
| 4.3 | Válvula de control de presión         | un | 1 | \$ 25.00 | \$ 25.00  | Tipo esfera o mariposa         |
| 4.4 | Manómetro de control de presión       | un | 1 | \$120.00 | \$ 120.00 | Rango 0–2 bar                  |
| 4.5 | Trampa de agua / válvula de seguridad | un | 1 | \$ 25.00 | \$ 25.00  | Protección contra sobrepresión |

## 5. Tanque de almacenamiento de biogás

| Cod | Descripción del rubro                         | Unidad | Cantidad | \$       | \$        | Observaciones             |
|-----|-----------------------------------------------|--------|----------|----------|-----------|---------------------------|
| 5.1 | Tanque cilíndrico metálico o plástico Ø2.00 m | un     | 1        | \$500.00 | \$ 500.00 | Capacidad según diseño    |
| 5.2 | Conexión de tubería de gas al tanque          | m      | 10       | \$ 10.00 | \$ 100.00 | Incluye válvulas y sellos |

## 6. Obras complementarias

| Cod | Descripción del rubro                           | Unidad | Cantidad | \$       | \$        | Observaciones                        |
|-----|-------------------------------------------------|--------|----------|----------|-----------|--------------------------------------|
| 6.1 | Construcción de cercado perimetral o protección | m      | 40       | \$ 2.54  | \$ 101.60 | Malla o cerramiento                  |
| 6.2 | Señalética de seguridad y operación             | un     | 1        | \$ 20.00 | \$ 20.00  | Incluye rotulación                   |
| 6.3 | Pruebas de funcionamiento del sistema           | un     | 1        | \$ 60.00 | \$ 60.00  | Ensayo integral de producción de gas |
| 6.4 | Manual de operación y mantenimiento             | un     | 1        | \$ 40.00 | \$ 40.00  | Entrega en formato físico y digital  |

## 7. Mano de obra y gestión

| Cod | Descripción del rubro                                 | Unidad   | Cantidad | \$       | \$        | Observaciones                    |
|-----|-------------------------------------------------------|----------|----------|----------|-----------|----------------------------------|
| 7.1 | Mano de obra calificada (oficial albañil, instalador) | jornales | 2        | \$100.00 | \$ 200.00 | Incluye soldador de geomembrana  |
| 7.2 | Mano de obra no calificada (ayudantes)                | jornales | 1        | \$100.00 | \$ 100.00 | Excavación, transporte, limpieza |
| 7.3 | Supervisión técnica y control de calidad              | mes      | 1        | \$400.00 | \$ 400.00 | Profesional responsable          |
| 7.4 | Transporte y logística de materiales                  | global   | 1        | \$100.00 | \$ 100.00 | Flete interno y externo          |

**Fuente:** Autores

### 4.5 Resultados del prototipo del biodigestor

#### Datos:

Fecha de inicio: 18 de septiembre de 2025

Relación agua – estiércol 2:1

El prototipo se lo realizó en la ciudad de Riobamba con una temperatura ambiente de 15°C. Luego de la construcción del prototipo (Ver en Anexos) se procedió a insertar la mezcla de las excretas con el agua con una relación 2:1, en el transcurso de los 30 días se fue tomando la temperatura interna del prototipo con un termómetro infrarrojo, también se fue tomando

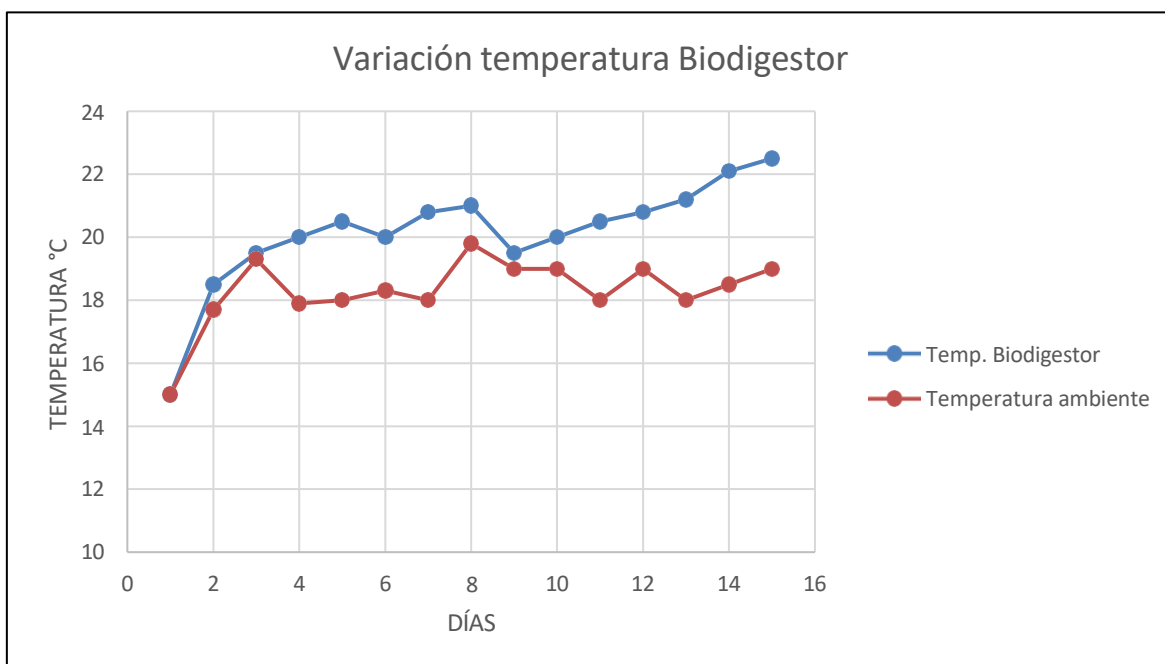
en cuenta la temperatura ambiente para una mejor referencia del proceso. En la tabla 13 se encuentran las mediciones de los 15 días más representativos.

**Tabla 20.** *Medición de la temperatura del prototipo*

| <b>Días</b>       | <b>Temperatura</b>   |         |
|-------------------|----------------------|---------|
| <b>18/09/2025</b> | Temperatura ambiente | 15 °C   |
|                   | Temperatura interna  | 15 °C   |
| <b>20/09/2025</b> | Temperatura ambiente | 17.7 °C |
|                   | Temperatura interna  | 18.5 °C |
| <b>21/09/2025</b> | Temperatura ambiente | 19.3 °C |
|                   | Temperatura interna  | 19.5 °C |
| <b>23/09/2025</b> | Temperatura ambiente | 17.9 °C |
|                   | Temperatura interna  | 19 °C   |
| <b>26/09/2025</b> | Temperatura ambiente | 18 °C   |
|                   | Temperatura interna  | 20.2 °C |
| <b>27/09/2025</b> | Temperatura ambiente | 18.3 °C |
|                   | Temperatura interna  | 20 °C   |
| <b>30/09/2025</b> | Temperatura ambiente | 18 °C   |
|                   | Temperatura interna  | 20.8 °C |
| <b>01/09/2025</b> | Temperatura ambiente | 19.8 °C |
|                   | Temperatura interna  | 21 °C   |
| <b>02/09/2025</b> | Temperatura ambiente | 19 °C   |
|                   | Temperatura interna  | 19.5 °C |
| <b>05/09/2025</b> | Temperatura ambiente | 19 °C   |
|                   | Temperatura interna  | 20 °C   |
| <b>07/09/2025</b> | Temperatura ambiente | 18 °C   |
|                   | Temperatura interna  | 20.5 °C |
| <b>10/09/2025</b> | Temperatura ambiente | 19 °C   |
|                   | Temperatura interna  | 20.8 °C |
| <b>12/10/2025</b> | Temperatura ambiente | 18 °C   |
|                   | Temperatura interna  | 21.2 °C |
| <b>15/10/2025</b> | Temperatura ambiente | 18.5 °C |

|            |                      |         |
|------------|----------------------|---------|
|            | Temperatura interna  | 22.1 °C |
| 20/10/2025 | Temperatura ambiente | 19 °C   |
|            | Temperatura interna  | 22.5 °C |

**Figura 17.** Variación de Temperatura



Durante 32 días de monitoreo de los cuales se tomaron 15 días representativos se obtuvo los siguientes datos como se puede observar en la Figura 17, para determinar una temperatura idónea se realizó un seguimiento de la temperatura ambiente la cual oscila en un rango de 15 a 20 °C, estos parámetros ya determinados se los realizo con la ayuda de un termómetro laser. La determinación de los datos de la temperatura dentro del prototipo del biodigestor oscila entre 15 a 23 °C se puede observar en la gráfica como los primeros días la temperatura fue incrementándose debido a que los microorganismos se están adaptando al medio, desde ese momento la temperatura aumenta, esto nos indica que existe el crecimiento de los microorganismos hasta el máximo, después para mantenerse constante.

#### 4.5.1 Prueba de la probeta invertida

Con el fin de comprobar la producción de biogás en el prototipo de biodigestor diseñado, se realizó una prueba experimental empleando el método de la probeta invertida. Después de un periodo de retención de 30 días, bajo condiciones ambientales promedio de la ciudad de Riobamba, el volumen acumulado de biogás registrado fue de 90 mL, equivalentes a 90  $cm^3$ .



Este resultado se obtuvo considerando una mezcla inicial de 2 kg de estiércol fresco con 4 litros de agua, es decir una relación 2:1 de agua respecto al sustrato.

**Figura 18.** *Prueba de la probeta invertida*



El valor obtenido puede considerarse coherente con la cantidad de materia orgánica utilizada y las condiciones del ensayo, dado que se trata de un volumen reducido de materia orgánica y que el proceso se desarrolló a una temperatura propia del rango psicrófilo (12-15 °C), la actividad microbiana metanogénica fue limitada, reduciendo la velocidad y el rendimiento de producción de gas. En condiciones mesofílicas (35 °C), este mismo tipo de sustrato podría llegar a generar volúmenes mayores.

El pequeño volumen total del biodigestor hace que este pierda calor con facilidad y que la biodegradación se vea afectada por las oscilaciones térmicas diarias, no obstante, la presencia de gas en la probeta evidencia que el proceso de digestión anaerobia se llevó a cabo de forma efectiva.

Este resultado demuestra la viabilidad del prototipo y confirma que la mezcla de estiércol y agua es adecuada para iniciar el proceso, este volumen pequeño representa un inicio exitoso, considerando que el ensayo se realizó sin control de temperatura ni optimización de parámetros como el pH. Con mejoras en el aislamiento térmico, incremento del volumen del biodigestor o control de temperatura, la producción de biogás podría incrementarse significativamente.

#### **4.5.2 Prueba de encendido del prototipo**

Se realizó también una prueba de encendido en la válvula de paso que se instaló en la tubería del prototipo del biodigestor (Ver en Anexos), luego de realizado el ensayo de la probeta invertida se acercó un encendedor a la válvula del biodigestor, una vez abierta se pudo observar cómo se encendió generando una pequeña llama la cual no duró por mucho tiempo,

esto debido a la poca cantidad de biogás, pero también a que ya se realizó el ensayo de la probeta invertida. Este resultado nos demuestra la correcta producción de biogás y su viabilidad.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

El estudio realizado permitió identificar las diversas fuentes de energía alternativa presentes en el entorno y en los procesos internos de la planta EXIBAL CIA TLDA, destacándose la biomasa generada por las actividades productivas como la principal fuente de aprovechamiento energético. Tras la evaluación de su disponibilidad, potencial de conversión y sostenibilidad, se determinó que la digestión anaerobia para la producción de biogás constituye la alternativa más viable.

A partir del análisis de los consumos energéticos se identificó que la mayor demanda térmica de la instalación está asociada al funcionamiento de la cocina industrial. Los resultados muestran que esta demanda puede ser cubierta de forma eficiente mediante la energía térmica generada a partir del biogás producido en la planta de EXIBAL CÍA. LTDA. En este sentido, se evidencia un importante potencial para sustituir fuentes energéticas convencionales por energías alternativas, lo que permitiría reducir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones derivadas de su uso.

El diseño del biodigestor no resultó económicamente viable, principalmente por su alto costo de implementación en relación con el precio actual del Gas Licuado de Petróleo (GLP) en el Ecuador. A pesar de ello, esta tecnología sigue siendo una alternativa energética factible desde el punto de vista técnico y coherente con las políticas ambientales y los objetivos de transición energética que persigue la empresa. Además, su posible implementación aportaría beneficios indirectos de gran relevancia, como la mejora de la imagen corporativa, el fortalecimiento del compromiso con la gestión ambiental responsable y la opción de acceder a reconocimientos y certificaciones ambientales, entre ellas la Certificación Ecuatoriana Ambiental Punto Verde, así como otros incentivos de carácter ambiental y empresarial.

## **5.2 Recomendaciones**

1. Para garantizar que la recolección de la biomasa sea correcta se debe tener personal adecuado y a horarios específicos.
2. Continuamente se recomienda inspeccionar y verificar si existen filtraciones de agua o aire en el biodigestor, para proceder a su respectiva reparación.
3. El personal encargado de la recolección y funcionamiento deberá proveer EPP para no tener accidentes laborales.
4. Se debe prestar atención a las llaves de seguridad si existe elevaciones de presión tanto en el biodigestor como en el tanque de almacenamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aznar, A., & Cabanelas, J. (2012). *Materias Primas* [Tesis de Maestría]. Universidad Carlos III de Madrid.
- Badii, M., Guillen, A., & Abreu, J. (2016). *Energías Renovables y Conservación de Energía. Daena: International Journal of Good Conscience*, 11(1), 141–155.
- Barón, A., & Contreras, I. (2020). *Biogas: Importancia y beneficios de energías alternativas en el mundo*. 14, 91–98.
- Barroso, A., & Ferreira, G. (2017). *Análisis crítico de la inversión en energías renovables. Enfoque socioeconómico*. 12(2), 69–90. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2073-60612017000200006&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2073-60612017000200006&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Basaure, P. (2019). *Estiercoles*. <https://www.lombriculturadetenjo.com/wp-content/uploads/2019/08/6.-Estiercol-I.pdf>
- Belmonte, S., Franco, A., Viramonte, J., & Núñez, V. (2009). *Integración de las energías renovables en procesos de ordenamiento territorial*. <http://hdl.handle.net/11336/186359>
- Botero, A., & Mariño, J. (2015). *Medición del contenido de gas*. <https://repositorio.uptc.edu.co/server/api/core/bitstreams/10d670eb-49d0-4732-b265-c06374a14b17/content>
- Castillo, T., García, F., Mosquera, L., Rivadeneira, T., Segura, K., & Yujato, M. (2023). *Panorama energético de América Latina y el Caribe* (Primera Edición). <https://www.olade.org/publicaciones/panorama-energetico-de-america-latina-y-el-caribe-2023/>
- Chavarria, I. (2014). *Implementación de un biodigestor en unidades peruanas* [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Navarro.
- Díaz, E., & León, N. (2021). *Análisis regulatorio e implementación normativa para sistemas de autoproducción eléctrica residencial en el Perú* [UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS]. <http://hdl.handle.net/10757/656522>
- Eaton, A., Smith, R., Pino, M., Renteria, S., Diaz, M., & Lokey, E. (2013). *Manual para la implementación de proyectos de captura de metano emitido por la agricultura y ganadería en México (2.a ed.)*. Instituto Internacional de Recursos Renovables. <https://es.scribd.com/document/254029778/Manual-Para-La-Implementacion-de-Proyectos-de-Captura-de-Metano-Emitido-Por-La-Agricultura-y-Ganaderia-e>

- Espinosa, K. (2021). *Biogás de residuos orgánicos como fuente de energía renovable Análisis del potencial de la ciudad de Quito* [Universidad Andina Simon Bolivar]. <http://hdl.handle.net/10644/8410>
- Estrada, D. (2012). *Diseño y fabricación de un prototipo para la obtención de biogás* [Tesis de Pregrado]. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- EXIBAL. (2023). *Descripción del proyecto EXIBAL CIA. LTDA.* <https://www.linkedin.com/company/exibal/about/>
- FAO. (2011). *Manual de biogás.* <https://www.fao.org/in-action/global-bioenergy>
- FAO. (2020). *Indicadores de sostenibilidad de la Alianza Mundial para la Bioenergía.* <https://www.fao.org/in-action/global-bioenergy-partnership/programme-of-work/working-areas/gbep-sustainability/en>
- Fernández, J. (2006). *Biomasa, la energía renovable de mayor contribución al balance energético nacional.* *Vida Rural*, 232, 38-41. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2018041>
- Figuerola, G., Balderas, J., Martínez, D., Mendoza, Á., & Rivas, B. (2022). *Energías Alternativas.* *Publicación Semestral*, 9(18), 38–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.29057/estr.v9i18.8853>
- Finck, H. (2009). *El biogás y sus aplicaciones* (2.a ed., Vol. 4). Preseca.
- Fontalvo, J., Ramírez, P., Constante, J., & Fonseca, J. (2022). *Balance Energético Nacional* (Primera Edición). [www.rekursyenergia.gob.ec](http://www.rekursyenergia.gob.ec)
- Forero, C., Guerrero, C., & Sierra, F. (2012). *Producción y uso de pellets de biomasa para la generación de energía térmica: una revisión a los modelos del proceso de gasificación.* 9, 21–30. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4991583>
- García, H., Corredor, A., Calderón, L., & Gómez, M. (2013). *Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia.* <http://hdl.handle.net/11445/331>
- García, V. (2020). *MANUAL DE BIOGÁS Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos.*
- Gavilanes, R. (2024). *Prediseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para la Comunidad 25 de febrero del Cantón Lago Agrio* [Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12478>
- Garzón, M. F. (2011). *Estudio de un biodigestor generador de gas metano mediante abono orgánico para prácticas de energías alternativas En el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato* [Tesis de Pregrado,

- Universidad Técnica de Ambato].  
<https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/53ba989b-7534-42a7-be67-34eafc17e104/content>
- Guerrero, C., Inga, E., & Smaniego, F. (2011). *Optimización de un biodigestor en la depuración de agua residual con estiércol de ganado bovino* [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1215/14/UPS-CT002194.pdf>
- Huerga, I., Butti, M., & Venturelli, L. (2014). *Biodigestores de pequeña escala un análisis práctico sobre su factibilidad* (1st ed.). Ediciones INTA.  
<https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/3805>
- Martínez, L. (2005). El estiercol y las practicas agrarias respetuosas con el ambiente. *Hojas Divulgadoras*, 24.
- Matulaitis, R., Juškieñė, V., & Juška, R. (2015). Medición de la producción de metano a partir del estiércol de cerdos y ganado vacuno en Lituania. *Zemdirbyste*, 102(1), 103–110. <https://doi.org/10.13080/z-a.2015.102.013>
- Mirica, I., Pana, C., Negurescu, N., Cernat, A., & Nutu, N. C. (2016). Funcionamiento de motor diésel de combustible dual utilizando GLP. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 147(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/147/1/012122>
- Moncayo, G. (2008). *Biodigestores. Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás*. (1.a ed.). Aqualimpia Beratende Ingenieure.  
[https://www.academia.edu/25534273/DIMENSIONAMIENTO\\_DISE%C3%91O\\_Y\\_CONSTRUCCI%C3%93N\\_DE\\_BIODIGESTORES\\_Y\\_PLANTAS\\_DE\\_BIOG%C3%81S\\_MANUAL\\_PR%C3%81CTICO\\_DE\\_DISE%C3%91O](https://www.academia.edu/25534273/DIMENSIONAMIENTO_DISE%C3%91O_Y_CONSTRUCCI%C3%93N_DE_BIODIGESTORES_Y_PLANTAS_DE_BIOG%C3%81S_MANUAL_PR%C3%81CTICO_DE_DISE%C3%91O)
- Montes, M. (2008). *Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la Fracción Orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid].  
<https://oa.upm.es/1049/>
- Olaya, Y., & González, L. (2012). *Fundamentos para el diseño de biodigestores*.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10762>
- Posso, F. (2002). Energía y Ambiente: Pasado, Presente y Futuro. Parte Dos: Sistema Energético Basado En Energías Alternativas. *Geoenseñanza*, 7, 54–73.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36070206>

- Posso, F., Acevedo, J., & Hernández, J. (2014). *El impacto económico de las energías renovables*. 2, 22–26.
- Presidencia de la República del Ecuador. (2021). Decreto Ejecutivo No. 239: Reglamento de generación distribuida en Ecuador. *Registro Oficial*.  
[https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/Decreto\\_Ejecutivo\\_No.\\_239.pdf](https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/Decreto_Ejecutivo_No._239.pdf)
- Romero, A. (2010). *Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles*. *Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp)*, 104(2), 331–345.
- Salazar, J., Amusquivar, C., Llave, J., & Rivasplata, C. (2012). *Producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado*. XIX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente, 11, 14-17.  
<https://www.yumpu.com/es/document/read/15351677/produccion-de-biogas-y-biol-a-partir-de-excretas-de-ganado>
- Schleenstein, G., Ramelli, S., & Ingeniería Alemana. (2009). *Estudio para la evaluación socioeconómica y ambiental de tres prototipos de biodigestores en predios de pequeños productores lecheros*. Informe final. Consultoría ODEPA.  
<https://sidalc.net/search/Record/dig-odepa-123456789-59404/Details>
- Silva, J. (2002). *Tecnología del biogás* [Tesis de Pregrado, Universidad del Valle].  
[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/SILVA%202002.%20Tecnolog%C3%ADa%20del%20Biog%C3%A1s.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SILVA%202002.%20Tecnolog%C3%ADa%20del%20Biog%C3%A1s.pdf)
- Solari, G. (2008). Biodigestores. *Soluciones Prácticas*, 8, 1-4.
- Soria, R. C. P. (2020). Biogás: Una Alternativa para la Expansión de Generación Eléctrica en el Ecuador. *Revista Técnica “Energía,”* 38–45.  
<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v9.n1.2013.131>
- Suntasig, H. (2010). *Diseño de un biodigestor para el aprovechamiento energético de la excreta generada por los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) En la finca de autoconsumo del Instituto Preuniversitario Vocacional de Ciencias Exactas “Federico Engels”* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi].  
<https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/dbde2419-cd69-4be1-bde2-408882e986ad/content>



## ANEXOS

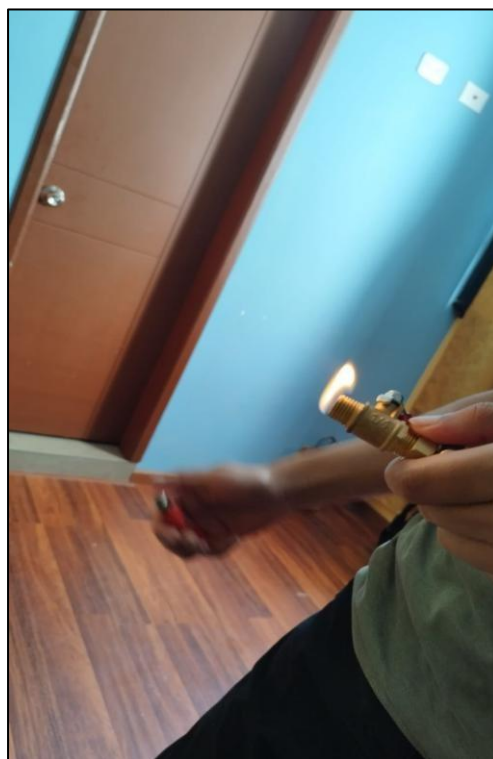
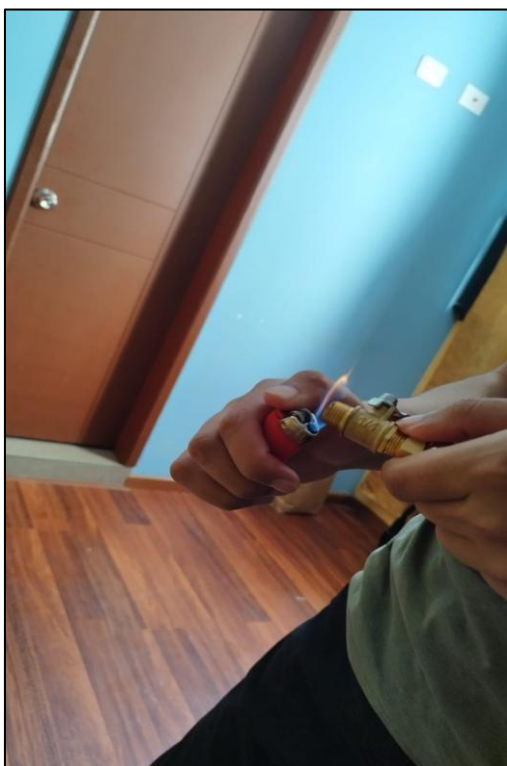
### Anexo 1

#### Construcción del prototipo



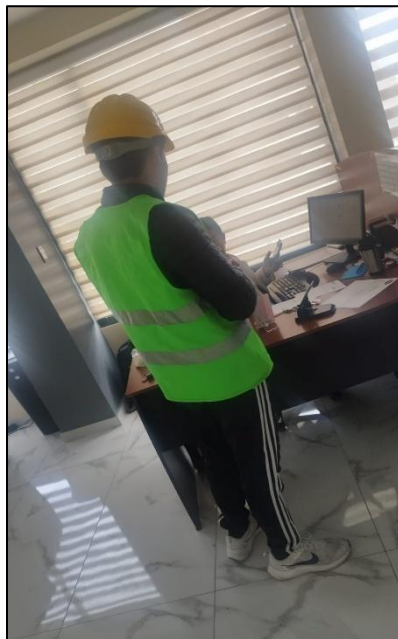
### Anexo 2

#### Prueba de encendido del prototipo



### Anexo 3

Entrevistas al personal de la planta



### Anexo 4

Identificación de las posibles demandas energéticas dentro de la empresa



## Anexo 5

Entrevista al personal de la cocina



## Anexo 6

Recolección de las muestras para el prototipo

