






RESEARCH ARTICLE

Diseño de un biodigestor como alternativa para la diversificación energética en la planta EXIBAL Cía. Ltda.

Quinatoa Acosta Anderson Celin¹  Valencia Cortes Asly Michel¹  Lenin Santiago Orozco Cantos¹ 
Francisco Javier Tello Intriago²  Olguer Humberto Lamiña Maygua² 

¹ Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

² EXIBAL Cia. Ltda., Chambo, Ecuador

✉ Correspondencia: anderson.quinatoa@unach.edu.ec ☎ + 593 97 911 2369

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj92332>

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 42%. El estudio concluye que la implementación de un biodigestor es una alternativa técnica y ambientalmente adecuada para diversificar la matriz energética de la planta y mejorar la gestión de residuos orgánicos.

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

Design of a biodigester for energy diversification at the Exibal CIA. LTDA. plant.

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



Check for updates

Cita: Quinatoa Acosta, A. C., Valencia Cortes, A. M., Orozco Cantos, L. S., Tello Intriago, F. J., & Lamiña Maygua, O. H. (2026). Diseño de un biodigestor como alternativa para la diversificación energética en la planta EXIBAL Cía. Ltda. Green World Journal, 09(02), 332. <https://doi.org/10.53313/gwj92332>

Received: 15/Mayo/2026

Accepted: 05/Mayo/2026

Published: 07/Mayo/2026

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.

Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial

editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2026 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.

Creative Commons Attribution (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

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.

1. Introducción

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 [1].

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 [2].

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 [3].

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 [4].

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.

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 [5].

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 [6].

Aunque en el diagrama de procesos de EXIBAL CIA. LTDA. 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.

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.

2. Materiales y métodos

2.1 Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación es de enfoque cuantitativo, con un diseño experimental de tipo descriptivo, orientado a la solución de una necesidad real mediante la implementación de una alternativa energética sostenible. El estudio se centra en el diseño de un biodigestor anaerobio para la diversificación energética de la planta EXIBAL CIA. LTDA., integrando fundamentos teóricos con procedimientos técnicos y experimentales que permiten evaluar su viabilidad.

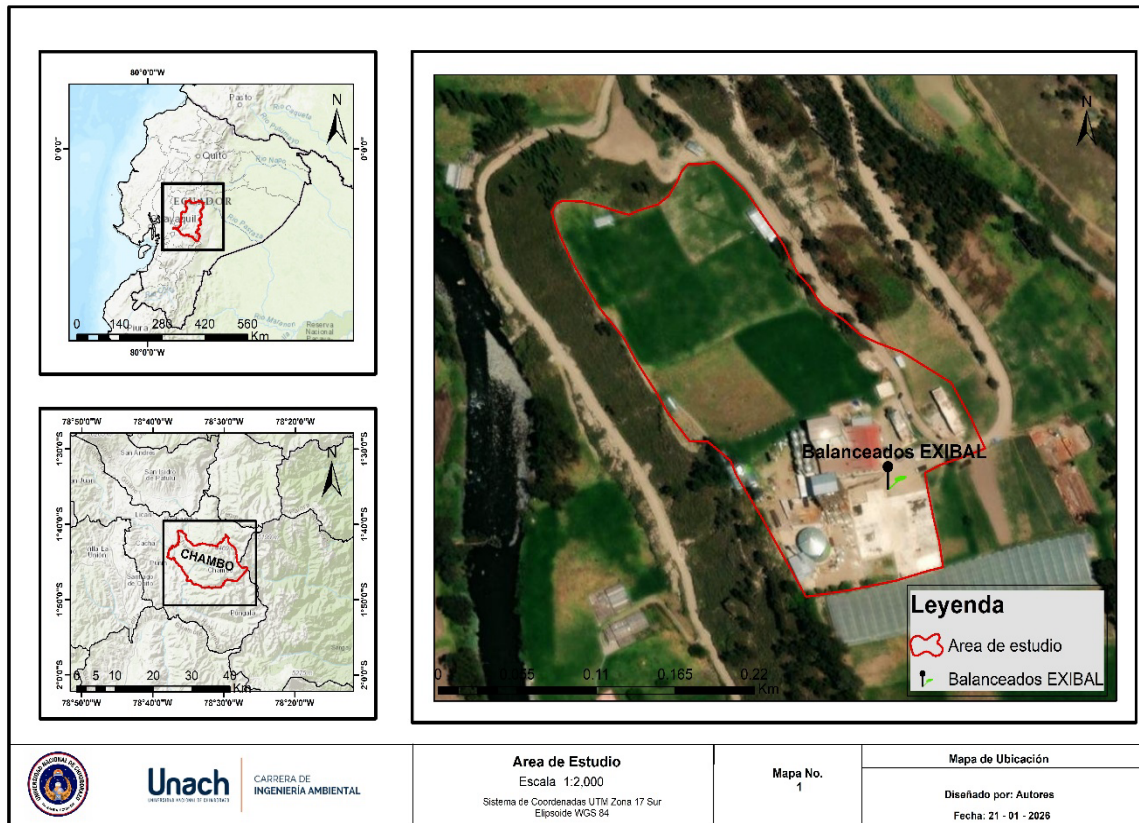
El carácter descriptivo del estudio permitió detallar las características técnicas del biodigestor propuesto, así como los parámetros necesarios para su dimensionamiento, funcionamiento y aplicación en un contexto industrial real. Adicionalmente, el enfoque experimental se reforzó mediante la construcción y evaluación de un prototipo a escala de laboratorio, con el objetivo de validar el comportamiento del sistema y comprobar la producción de biogás bajo condiciones controladas.

2.2 Área de estudio

El estudio se desarrolló en la planta EXIBAL CIA. LTDA., ubicada en la ciudad de Riobamba, Ecuador. La empresa cuenta con actividades productivas que generan residuos orgánicos de origen pecuario, específicamente estiércol porcino, el cual constituye la materia prima principal para el diseño del biodigestor propuesto.

Las condiciones climáticas de la zona se caracterizan por temperaturas ambientales promedio cercanas a los 15 °C, lo cual representa un factor relevante en el proceso de digestión anaerobia, debido a su influencia directa sobre la actividad microbológica. Estas condiciones fueron consideradas tanto en el diseño del biodigestor como en la evaluación experimental del prototipo.

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio, empresa EXIBAL CIA. LTDA.



2.3 Métodos de recolección y análisis de información

Para el desarrollo de la investigación se aplicó una metodología combinada que incluyó la revisión bibliográfica, la recolección de datos primarios y secundarios, y el análisis técnico-energético de la planta.

La revisión bibliográfica se realizó con el fin de recopilar información técnica sobre biodigestores, procesos de digestión anaerobia, producción de biogás y aprovechamiento energético de residuos orgánicos. Esta etapa permitió establecer los criterios técnicos necesarios para el diseño del sistema y sustentar teóricamente la investigación.

La recolección de datos primarios se llevó a cabo mediante visitas técnicas a la planta EXIBAL CIA. LTDA., observación directa de los procesos productivos, y entrevistas al personal clave, lo que permitió identificar los puntos de mayor consumo energético y las fuentes de residuos disponibles. Paralelamente, se recopilaban datos secundarios a partir de documentos internos de la empresa, relacionados con consumos energéticos y operación de las instalaciones.

2.4 Determinación de los requerimientos energéticos de la planta

Se realizó un análisis detallado de los requerimientos energéticos de la planta que pueden ser abastecidos mediante energía térmica proveniente de fuentes propias. Para ello, se identificaron los principales procesos

consumidores de energía térmica, correspondientes al uso de duchas eléctricas para el personal y la cocina industrial.

En el caso de las duchas, se consideró la potencia nominal de los equipos, el tiempo promedio de uso y el número máximo de trabajadores. Para la cocina industrial, se evaluó el consumo mensual de GLP, considerando el número de bombonas utilizadas y su equivalencia energética en términos de energía térmica.

Los cálculos permitieron cuantificar la demanda energética total susceptible de ser cubierta mediante biogás, información fundamental para el dimensionamiento del biodigestor y la evaluación de la viabilidad energética del sistema.

2.5 Diseño del biodigestor anaerobio

El diseño del biodigestor se realizó considerando como materia prima principal el estiércol porcino generado en la planta. Se adoptó un sistema de digestión anaerobia con una relación agua: sustrato de 2:1, de acuerdo con los criterios técnicos establecidos en la literatura y aplicados en la tesis.

El proceso de diseño incluyó el cálculo del volumen del biodigestor, el dimensionamiento de sus componentes, la estimación de la producción diaria de biogás y el cálculo del volumen del tanque de almacenamiento. Asimismo, se determinaron los parámetros necesarios para asegurar un funcionamiento adecuado del sistema, tales como el tiempo de retención hidráulica, la temperatura de operación y los niveles de sólidos totales y sólidos volátiles.

El biodigestor propuesto corresponde a un sistema anaerobio de tipo trapezoidal con geomembrana, seleccionado por su simplicidad constructiva, facilidad de operación y adaptabilidad a las condiciones del sitio.

2.6 Construcción y evaluación del prototipo de laboratorio

Con el fin de validar el diseño propuesto, se construyó un prototipo de biodigestor a escala de laboratorio. El prototipo fue elaborado utilizando materiales accesibles y adecuados para garantizar la hermeticidad del sistema y permitir el monitoreo del proceso.

Una vez construido, se procedió a cargar el prototipo con una mezcla de estiércol fresco y agua en una relación 2:1. El sistema fue monitoreado durante un periodo de 30 días, registrándose la temperatura interna del biodigestor y la temperatura ambiente mediante el uso de un termómetro infrarrojo.

Para la prueba experimental del biogás se utilizó el método de la probeta invertida, que según [7], 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.

Adicionalmente, se realizó una prueba de encendido para comprobar la inflamabilidad del biogás producido, verificando así su potencial como fuente de energía térmica.

3. Resultados

3.1 Identificación y selección de las fuentes de energía alternativa

Como resultado del análisis de las condiciones operativas de la planta EXIBAL CIA. LTDA. y de la revisión de las fuentes de energía alternativa disponibles, se identificó que la biomasa de origen pecuario constituye la opción más viable para su aprovechamiento energético inmediato. La empresa genera de manera constante

residuos orgánicos, específicamente estiércol porcino, los cuales presentan un potencial significativo para la producción de biogás mediante procesos de digestión anaerobia.

Otras fuentes de energía alternativa fueron consideradas de manera comparativa; sin embargo, la disponibilidad continua del estiércol, su fácil recolección y su compatibilidad con tecnologías de bajo costo posicionaron a la biomasa como la alternativa más adecuada para la diversificación energética de la planta. Este resultado permitió orientar el desarrollo del estudio hacia el diseño de un biodigestor anaerobio que aproveche dichos residuos.

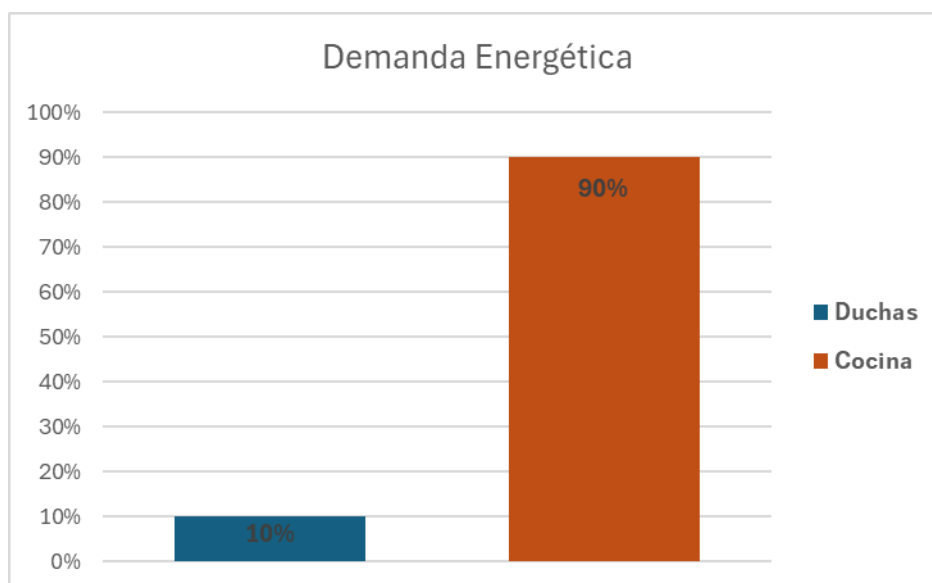
3.2 Determinación de los requerimientos energéticos de la planta

Los resultados del análisis energético evidencian que los principales consumos de energía térmica en la planta corresponden al uso de duchas eléctricas para el personal y a la cocina industrial. En el caso de las duchas, se consideraron cuatro unidades eléctricas convencionales de 110 V y 3,95 kW de potencia.

Los cálculos realizados muestran que, si las duchas son utilizadas de manera individual por un máximo de 30 trabajadores durante 10 minutos cada uno, el consumo energético mensual alcanza un valor de 19,8 kWh. En un escenario de uso simultáneo de las cuatro duchas, el consumo mensual se incrementa hasta 79,15 kWh.

Respecto a la cocina industrial, se determinó que el consumo promedio corresponde a cinco bombonas mensuales de GLP de 12,5 kg cada una. A partir de la equivalencia energética del GLP, se obtuvo el valor de la energía térmica requerida para el funcionamiento de la cocina con un consumo aproximado de 795 kWh/mes, lo que representa más del 90 % de la demanda térmica total de la planta, estimada en 874,15 kWh/mes. Estos resultados confirman que la cocina constituye el principal punto de consumo térmico, debido a su operación diaria y a la preparación continua de alimentos para todo el personal, lo que permitió estimar el requerimiento energético total susceptible de ser cubierto mediante biogás.

Figura 2. Ilustración de la demanda energética en Exibal CIA. LTDA.



Debido a que la cocina representa el 90% (795 kWh/mes) de la demanda energética, este diseño se enfoca directamente en el funcionamiento térmico de la cocina, dejando de lado el 10% (79,15 kWh/mes) correspondiente a las duchas ya que requieren de un cambio tecnológico y representa un costo elevado la transformación de energía térmica a energía eléctrica.

3.3 Diseño del biodigestor para la producción de biogás

El diseño del biodigestor se desarrolló a partir de la estimación de la producción diaria de estiércol porcino disponible en la planta con un número de cerdos de 48, una tasa de generación de estiércol de 4,5 kg/d, un tiempo de retención hidráulica de 30 días y de los parámetros técnicos establecidos para la digestión anaerobia. Como resultado, se propuso un biodigestor anaerobio de tipo trapezoidal con geomembrana, con un volumen útil de $22,36 \text{ m}^3$.

Las dimensiones definidas para el biodigestor corresponden a una base superior de 3,50 m, una base inferior de 2,00 m, una altura total de 2,00 m y una longitud de 4,06 m. Estas características permiten una adecuada contención del sustrato, facilitan la construcción del sistema y garantizan un funcionamiento estable del proceso de digestión.

Asimismo, se diseñó un tanque de almacenamiento de biogás con un volumen de $10,70 \text{ m}^3$, un diámetro de 2,00 m y una longitud de 3,41 m. Este tanque permite almacenar el biogás producido y asegurar su disponibilidad para el consumo energético de la planta.

La relación agua: sustrato utilizado en el diseño fue de 2:1, valor que garantiza una adecuada fluidez del material dentro del biodigestor y favorece la actividad microbiológica.

Tabla 1. Resumen de los parámetros de diseño

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

3.4 Producción estimada de biogás y energía térmica

Los cálculos realizados para la estimación fueron realizados teniendo en cuenta los Sólidos totales (ST) en estiércol porcino (16%) y los Sólidos volátiles (SV) que representa el 70 % de los ST, el metano (CH_4) representa el 65% del biogás y con un potencial de generación de metano de $0,25 \frac{\text{m}^3 \text{CH}_4}{\text{kg SV}}$.

Los resultados del cálculo de producción indican una generación diaria estimada de $9,30 \text{ m}^3$ de biogás. A partir de este valor, se determinó una producción diaria de energía térmica de 46,52 kWh, lo que equivale a una energía térmica mensual aproximada de 1395,69 kWh.

Tabla 2. Resumen de parámetros de producción de biogás y energía térmica

Parámetro	Unidad	Valor estimado
Producción diaria de CH_4	$m^3/día$	6,05
Producción diaria de biogás	$m^3/día$	9,30
Energía térmica diaria	$kWh/día$	46,52
Energía térmica mensual	kWh/mes	1395,69

Estos resultados evidencian que la energía térmica potencial generada por el biodigestor es suficiente para cubrir la demanda energética previamente identificada en la planta, particularmente en los procesos de cocina industrial y uso de duchas para el personal.

3.5 Resultados del prototipo de biodigestor a escala

Como parte del estudio experimental, se construyó y evaluó un prototipo de biodigestor a escala de laboratorio, el cual fue operado bajo condiciones ambientales promedio de la ciudad de Riobamba, con una temperatura ambiente cercana a los 15 °C.

Durante un periodo de monitoreo de 30 días, se registraron temperaturas internas del prototipo que oscilaron entre 15 y 23 °C, evidenciando un incremento progresivo en los primeros días debido a la adaptación y crecimiento de los microorganismos anaerobios. Posteriormente, la temperatura interna se mantuvo relativamente estable, indicando un proceso de digestión activo.

La producción de biogás fue evaluada mediante la prueba de la probeta invertida. Al finalizar el periodo de retención, se registró un volumen acumulado de 90 mL de biogás, obtenido a partir de una mezcla inicial de 2 kg de estiércol fresco con 4 litros de agua, manteniendo la relación 2:1 establecida en el diseño.

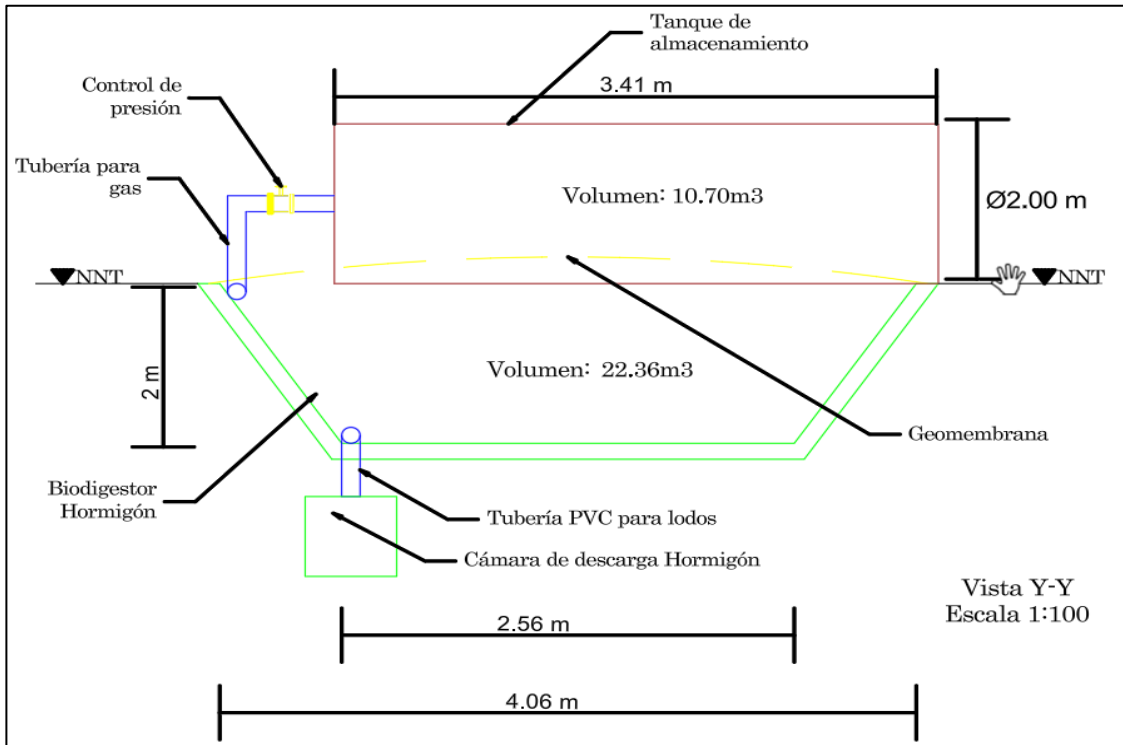
Adicionalmente, se realizó una prueba de encendido, la cual permitió verificar la inflamabilidad del gas producido, confirmando su potencial como fuente de energía térmica.

4. Discusión

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 3 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 1 posteriormente entregada.

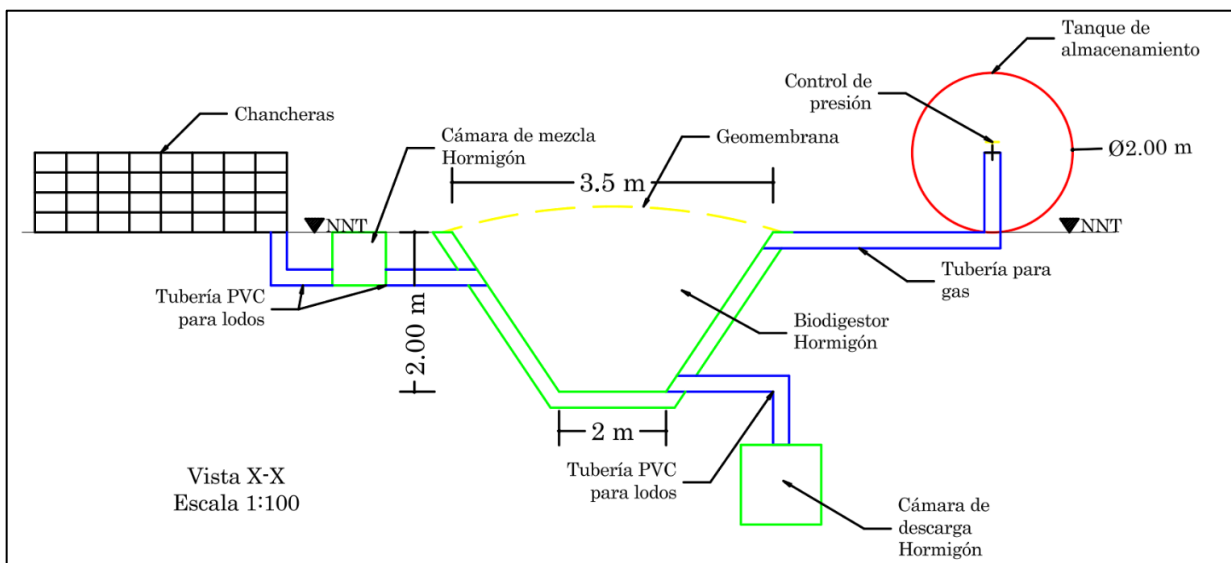
Figura 3. Vista Lateral de la propuesta del Biodigestor



El biodigestor diseñado tiene un volumen útil total de $22,36\text{ m}^3$, 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 4 presenta la vista frontal del diseño, 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 4. Vista frontal de la propuesta del biodigestor y tanque de almacenamiento



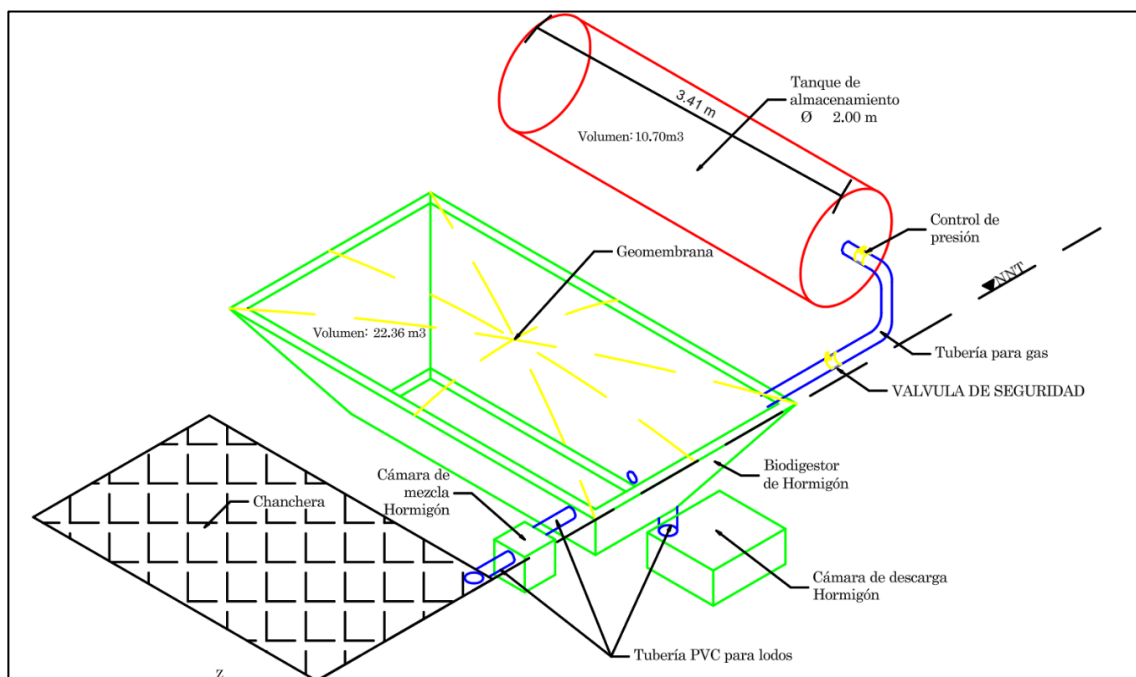
Esta geometría ofrece ventajas tanto estructurales como funcionales, ya que mejora la estabilidad del material dentro del digestor y permite que la geomembrana superior actúe como reservorio de gas, adaptándose a los cambios de presión interna.

En base al contenido de sólidos volátiles disponible, se estima una producción diaria de $6,05 \text{ m}^3$ de metano (CH_4), equivalente a $9,30 \text{ m}^3$ 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 $800 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$. Por lo tanto, el sistema presenta una oferta energética excedente, la cual puede aprovecharse en otras operaciones internas.

El diseño también toma en cuenta posibles variaciones durante la operación, como una recolección parcial del estiércol o cambios estacionales en la cantidad de sustrato disponible. Incluso en un escenario conservador, donde solo se logre recolectar el 60 % del material estimado, la energía generada sería suficiente para cubrir las necesidades de la planta, lo que aporta mayor seguridad al sistema y favorece su funcionamiento a largo plazo. Este sobredimensionamiento no debe entenderse como un desperdicio, sino como una ventaja técnica y estratégica, ya que permite que el biodigestor se mantenga vigente con el tiempo y se adapte a futuros aumentos en la disponibilidad de materia prima o en la demanda energética de la empresa.

La Figura 5 presenta la vista aérea del diseño, 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.

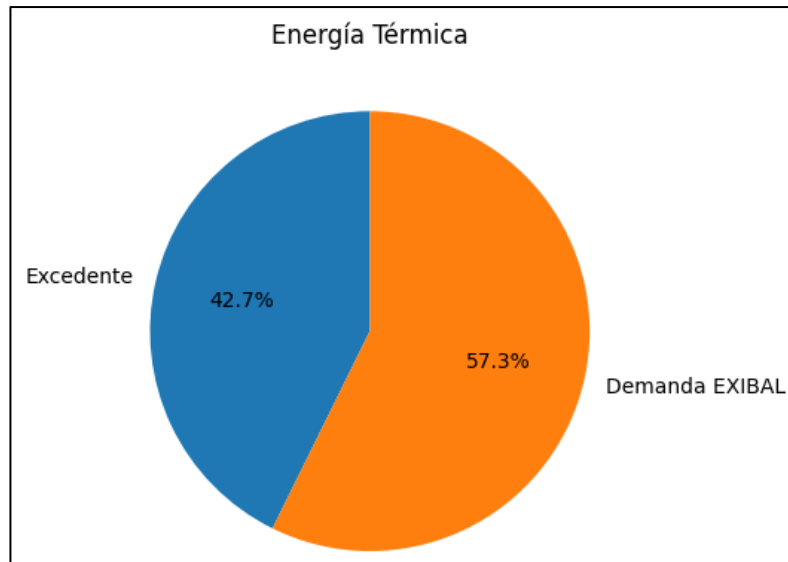
Figura 5. Vista aérea del diseño



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 6 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 6. Ilustración de la energía térmica



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.

4.1 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.

4.2 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 agua y transición ecológica del Ecuador (MAATE) 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 [8].

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 [8].

4.3 Viabilidad económica

La Tabla 3 muestra un resumen 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.

Tabla 3. Análisis estimado de costos

COSTOS ESTIMADOS BIODIGESTOR EXIBAL	
1. Obras preliminares	\$ 248.00
2. Obra civil	\$ 1,963.13
3. Estructura principal del biodigestor	\$ 105.00
4. Sistema de tuberías y accesorios	\$ 329.00
5. Tanque de almacenamiento de biogás	\$ 600.00
6. Obras complementarias	\$ 221.60
7. Mano de obra y gestión	\$ 800.00
TOTAL	\$ 4,266.73

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.

5. Conclusión

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.

Contribución de autores:

Quinatoa A.: Conceptualización, recopilación de datos, análisis de resultados, redacción del manuscrito.

Valencia A.: Metodología, procesamiento de datos, validación de resultados, redacción del manuscrito.

Orozco L.: Supervisión, diseño metodológico, revisión crítica del contenido, edición final del manuscrito.

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- [1] F. Posso, J. Acevedo, and J. Hernández, "El impacto económico de las energías renovables," vol. 2, pp. 22–26, 2014.
- [2] T. Castillo, F. García, L. Mosquera, T. Rivadeneira, K. Segura, and M. Yujato, *Panorama energético de América Latina y el Caribe*, Primera Edición. 2023. Accessed: Nov. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.olade.org/publicaciones/panorama-energetico-de-america-latina-y-el-caribe-2023/>
- [3] Presidencia de la República del Ecuador, "Decreto Ejecutivo No. 239: Reglamento de generación distribuida en Ecuador," *Registro Oficial*, 2021, Accessed: Nov. 26, 2024. [Online]. Available: https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/Decreto_Ejecutivo_No_239.pdf
- [4] EXIBAL, "Descripción del proyecto EXIBAL CIA. LTDA," 2023. Accessed: Nov. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/company/exibal/about/>
- [5] C. Forero, C. Guerrero, and F. Sierra, "Producción y uso de pellets de biomasa para la generación de energía térmica: una revisión a los modelos del proceso de gasificación," vol. 9, pp. 21–30, 2012, Accessed: Jan. 14, 2025. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4991583>
- [6] J. Fontalvo, P. Ramírez, J. Constante, and J. Fonseca, *Balance Energético Nacional*, Primera Edición. 2022. [Online]. Available: www.rekursyenergia.gob.ec
- [7] A. Botero and J. Mariño, "Medición del contenido de gas," 2015. Accessed: Nov. 21, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.uptc.edu.co/server/api/core/bitstreams/10d670eb-49d0-4732-b265-c06374a14b17/content>
- [8] MAATE, "Nueva Normativa Para la Certificación Ecuatoriana Ambiental Punto Verde Para Economía Circular," 2024. [Online]. Available: www.pecs.com.ec



© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>