

Alternativas de aprovechamiento de las fuentes de energía disponibles en la finca productiva ECOCERD

Paula Andrea Camargo Morales

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Electricista

Director

Manuel José Ortiz Rangel

Magister en Ingeniería Eléctrica

Codirector

Gabriel Ordóñez Plata

Doctor en Ingeniería Industrial, área Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctricas, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

A mis padres, Martha Morales y Pedro Camargo. No me alcanza la vida para agradecerles todo lo que me han brindado. Este logro no es únicamente mío; es de ustedes, quienes caminaron a mi lado en cada etapa, quienes con su voz de aliento nunca permitieron que me derrumbara. Gracias por su apoyo incondicional, por los sacrificios realizados, por escucharme, guiarme y acompañarme siempre.

Todo lo que soy y lo que he alcanzado ha sido gracias a ustedes.

Paula Andrea Camargo Morales

Agradecimientos

Expreso un sincero agradecimiento al profesor Manuel José, no solo por su labor académica, sino por su calidad humana. Sus palabras y charlas dejaron una huella significativa que trasciende lo académico y permanecerá conmigo más allá de la universidad.

Agradezco al profesor Gabriel Ordóñez por su disposición y apoyo durante mi paso por la universidad. Su compromiso y orientación fueron fundamentales en mi proceso de formación.

A Joseph, quien me acompañó con amor y paciencia en la recta final de esta etapa. Agradezco su apoyo constante y el haber estado presente cuando más lo necesité.

Finalmente, agradezco profundamente a Dios por su guía constante a lo largo de este camino. Incluso en los momentos de duda, cansancio o incertidumbre, su presencia me sostuvo, me orientó y me permitió llegar hasta donde estoy hoy. Confío plenamente en que nada de este proceso fue casualidad, sino parte de un propósito mayor que se fue revelando paso a paso.

Tabla de contenido

Introducción.....	12
1. Objetivos	14
1.1 Objetivo General	14
1.2Objetivos Específicos.....	14
2. Metodología.....	15
2.1 Reconocimiento del sitio.....	15
2.2 Análisis de consumo.....	18
2.3 Entrevista a los usuarios.	19
2.4 Inventario de cargas existentes.....	22
2.5 Estimación de la demanda energética.....	24
2.6 Análisis de restricciones y oportunidades de mejora en función de las fuentes disponibles en la finca	25
2.6.1 Calidad del suministro	26
2.6.2 Consumo energético	26
2.6.3 Instalaciones de uso final.....	27
2.6.4 Aspectos culturales y percepción de los usuarios	27
2.7 Análisis de alternativas de aprovechamiento energético y térmico	29
2.7.1 Alternativas de solución aprovechamiento energético.....	29
2.7.2 Alternativas de aprovechamiento térmico.....	33
3. Conclusiones.....	39

4. Recomendaciones..... 40

Referencias bibliográficas..... 41

Lista de Tablas

Tabla 1. Componentes tarifarios EBSA.....	19
Tabla 2. Estimación de uso de equipos	24
Tabla 3. Descripción y componentes estimados de alternativas energéticas para la finca ECOCERD	30
Tabla 4. Criterio para el análisis de alternativas energéticas para la finca ECOCERD	31
Tabla 5. Descripción y componentes estimados de alternativas térmicas para la finca ECOCERD.	33
Tabla 6. Criterio para el análisis de alternativas térmicas para la finca ECOCERD	34

Lista de Figuras

Figura 1: Vista satelital de la finca ECOCERD	15
Figura 2: Biodigestor tubular.....	16
Figura 3: Diferentes vistas de la infraestructura externa de la casa.	18
Figura 4: Inventario de cargas existentes	23
Figura 5: Curva de demanda diaria estimada en finca ECOCERD	25

Lista de Apéndices

Los apéndices están disponibles en el repositorio institucional.

Ver Apéndice A. Registro fotográfico de la infraestructura de la vivienda.

Ver Apéndice B. Diagrama unifilar de uso final.

Ver Apéndice C. Facturas del operador de red EBSA.

Ver Apéndice D. Ficha diagnóstico de la infraestructura eléctrica interna de la vivienda.

Ver Apéndice E. Análisis de costos de los sistemas fotovoltaicos.

Ver Apéndice F. Análisis de costos de los sistemas térmicos.

Ver Apéndice G. Conversión del volumen de biogás a energía.

Ver Apéndice H. Soportes de cotización de equipos para generación de energía eléctrica a partir de biogás.

Resumen

Título: Alternativas de aprovechamiento de las fuentes de energía disponibles en la finca productiva ECOCERD*

Autor: Paula Andrea Camargo Morales**

Palabras clave: Diagnóstico, Fuentes energía, Infraestructura eléctrica, Biodigestor, Biogás.

Descripción: Este proyecto surge ante la necesidad de mejorar la gestión energética de la finca productiva ECOCERD, ubicada en el municipio de Floresta en el departamento de Boyacá, la cual enfrenta altos costos operativos derivados de la demanda energética de sus equipos y procesos productivos. Además, la fuerte dependencia de un servicio eléctrico inestable limita la operatividad productiva y altera la cotidianidad de la unidad familiar. A partir de un diagnóstico realizado en la infraestructura energética de la vivienda se identificó el estado regular de la red interna y la disponibilidad de recursos renovables en el sitio, como el biogás generado por un biodigestor operativo que cuenta con una producción estimada de 10 m^3 /día.

Frente a este panorama, la investigación evaluó la factibilidad de diversas alternativas basadas en fuentes no convencionales, específicamente mediante el aprovechamiento de la energía solar y la energía térmica derivada del biogás. Para ello, se revisaron los recursos disponibles y se consultaron tecnologías existentes para obtener referencias de costos y especificaciones reales. Esta información permitió realizar una comparativa entre las opciones, contrastando sus beneficios y limitaciones para identificar la alternativa que mejor se adaptara a las condiciones particulares de la finca.

Como resultado, se determinó la solución más adecuada bajo criterios técnicos y económicos. Esta propuesta busca fortalecer tanto los procesos de la unidad porcina como las necesidades de la vivienda, logrando un beneficio integral que mejore el sistema productivo familiar y reduzca la dependencia de fuentes externas, promoviendo un uso más inteligente de los recursos propios.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctricas, Electrónica y de Telecomunicaciones

Abstract

Title: Alternatives for the use of energy sources available at the ECOCERD productive farm

Author: Paula Andrea Camargo Morales

Keywords: Energy diagnosis, Energy sources, Electrical infrastructure, Biodigester, Biogas.

Description: This project arises from the need to improve energy management at the ECOCERD productive farm, located in the municipality of Floresta in the department of Boyacá, which faces high operating costs derived from the high energy demand of its equipment and production processes. Furthermore, the heavy dependence on an unstable electrical service limits productive operability and alters the daily life of the family unit. Based on a diagnosis carried out on the energy infrastructure of the dwelling, the fair condition of the internal network and the availability of renewable resources on-site were identified, such as the biogas generated by an operational biodigester with an estimated production of $10m^3/day$.

Given this scenario, the research evaluated the feasibility of various alternatives based on unconventional sources, specifically through the use of solar energy and thermal energy derived from biogas. To this end, available resources were reviewed and existing technologies were consulted to obtain real cost references and specifications. This information allowed for a comparison between the options, contrasting their benefits and limitations to identify the alternative that best adapted to the particular conditions of the farm.

As a result, the most appropriate solution was determined under technical and economic criteria. This proposal seeks to strengthen both the processes of the swine unit and the needs of the dwelling, achieving an integral benefit that improves the family production system and reduces dependence on external sources, promoting a smarter use of their own resources.

* Bachelor Thesis

** Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctricas, Electrónica y de Telecomunicaciones

Introducción

Las zonas rurales de Colombia a menudo enfrentan desafíos significativos en el acceso a un suministro energético confiable y económico. Estas regiones, con frecuencia marginadas en la infraestructura y las políticas públicas, experimentan interrupciones frecuentes del servicio eléctrico, altos costos y daños en los equipos, lo cual afecta directamente la calidad de vida de las familias campesinas y reduce la productividad de sus actividades agropecuarias. Sin embargo, en estos mismos entornos rurales, existen múltiples recursos cuyo aprovechamiento es escaso o nulo debido a limitaciones técnicas y, en parte, al desconocimiento de las comunidades.

Un ejemplo representativo de este problema se encuentra en el municipio de Floresta, Boyacá, específicamente en la finca productiva ECOCERD, dedicada a la porcicultura. La finca opera un biodigestor tubular que opera bajo condiciones psicrofílicas, con una capacidad de producción de $10 \text{ m}^3/\text{día}$ de biogás (con una concentración del 64% de CH_4) y una generación de $3 \text{ m}^3/\text{día}$ de digerido [4]. No obstante, el biogás generado no es aprovechado y en cambio, se quema al aire libre. Aunque esta práctica mitiga la liberación directa de metano, que es un potente gas de efecto invernadero, todavía resulta en emisiones contaminantes y refleja el desaprovechamiento de un recurso con alto potencial. Es crucial destacar que el metano posee un potencial de calentamiento global hasta ochenta veces mayor que el dióxido de carbono en un horizonte de veinte años; esto debido a su mayor eficiencia para atrapar el calor en la atmósfera, aunque su vida útil en ella es mucho más corta que la del dióxido de carbono [1].

Este biogás de origen local y renovable podría emplearse para fines productivos y domésticos esenciales en ECOCERD, tales como la cocción de alimentos, el calentamiento de agua y calefacción para los cerdos. En la actualidad, por desconocimiento técnico y temores frente a posibles riesgos en la infraestructura de la vivienda, los propietarios dependen del gas propano. El costo promedio de un cilindro de cuarenta libras de gas propano en Boyacá se ha estimado en un rango de \$104.198, lo que representa un gasto significativo y recurrente para la familia [2].

Este desperdicio de recurso bioenergético no es exclusivo de ECOCERD. A nivel nacional, la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) ha identificado que aproximadamente el 59 % del potencial de biogás y biometano en Colombia permanece sin aprovecharse [3], lo cual subraya una considerable área de oportunidad para impulsar proyectos sostenibles de energía renovable en el sector rural.

Frente a este panorama, el presente proyecto busca evaluar las distintas alternativas de aprovechamiento energético para las fuentes disponibles en la finca ECOCERD, en contraste con sus requerimientos de consumo. El enfoque del estudio es determinar la viabilidad técnica y económica de las soluciones energéticas planteadas. A partir de esta evaluación, se espera proponer la alternativa más adecuada que permita a la unidad productiva avanzar hacia un modelo de producción porcina más eficiente, confiable y sostenible.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Desarrollar alternativas de aprovechamiento de las fuentes de energía disponibles en la finca productiva ECOCERD en contraste con la expectativa de consumo.

1.2 Objetivos Específicos

Realizar un diagnóstico del estado actual de las fuentes de energía y los requerimientos energéticos de la finca mediante visitas de campo, aforo de cargas y entrevista a los usuarios finales.

Evaluar las restricciones y las oportunidades de mejora en función de las opciones energéticas disponibles en la finca productiva ECOCERD.

Realizar un análisis comparativo de las soluciones energéticas planteadas teniendo en cuenta criterios técnicos y económicos.

2. Metodología

Este estudio se llevó a cabo en tres etapas: en la primera, se estableció el diagnóstico actual mediante visitas de campo, entrevistas a los usuarios, levantamiento del inventario de cargas existentes y la estimación de la demanda energética. En la segunda etapa, se evaluaron las restricciones y oportunidades de mejora de las fuentes disponibles. Por último, se realizó un análisis comparativo de las soluciones planteadas bajo criterios técnicos y económicos.

2.1 Reconocimiento del sitio.

La finca productiva ECOCERD se encuentra ubicada en el municipio de Floresta en el departamento de Boyacá ($5^{\circ}51'44''\text{N}$ $72^{\circ}57'50''\text{W}$), una zona rural caracterizada por su clima frío (2700 MSNM), su topografía montañosa y el desarrollo de la porcicultura como actividad principal de pequeña escala, contando actualmente con una población de aproximadamente 200 cerdos. En este predio reside una familia de cinco personas que se encargan del ciclo productivo y la comercialización de la carne en el municipio. Para el manejo de los residuos orgánicos derivados de esta producción, la finca cuenta con un biodigestor tubular instalado en el año 2021 que opera bajo condiciones psicrófilas ($17^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$).

Figura 1

Vista satelital de la finca ECOCERD.



Nota: Vista satelital utilizada para la ubicación geográfica del predio.

Fuente: Google. (s. f.). Google Earth [Aplicación web]. Disponible en https://earth.google.com/web/@5.86260218,-72.96440853,2718.74167869a,1000d,30y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAaggBSgOI_____ARAA.

Durante la visita técnica realizada en julio 27 de 2025, se observó que el biodigestor se encuentra operativo, con una capacidad de producción de 10 m³/día de biogás y 3 m³/día de abono orgánico líquido, conocido como BIOL. Sin embargo, actualmente el biogás no está siendo utilizado para fines domésticos o productivos, debido al temor de los propietarios en cuanto a que su uso pueda generar daños a las personas y a la infraestructura de la vivienda. En consecuencia, el biogás producido se está quemando directamente al ambiente, con el fin de evitar su acumulación. Por otro lado, el BIOL sí es aprovechado por la familia para el riego de las praderas.

Figura 2

Biodigestor tubular



Nota: Biodigestor tubular instalado en la finca ECOCERD, utilizado para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos.

En cuanto a la instalación eléctrica de la vivienda, se evidenció una red interna en estado regular con presencia de cables antiguos, empalmes expuestos y puntos de conexión improvisados, condiciones que incrementan el riesgo de fallas y afectan la estabilidad del servicio (Ver Apéndice A) el análisis de la base instalada se encuentra en las fichas.

El servicio de energía es suministrado por el operador de red EBSA, a través de una acometida domiciliaria monofásica trifilar (aérea en red abierta) con conductores de cobre calibre No. 8 AWG, la cual alimenta un tablero de distribución principal de seis puestos con tres espacios de reserva equipados.

Como se presenta en el diagrama unifilar (Ver Apéndice B), el sistema eléctrico de la vivienda está distribuido desde el tablero principal, del cual se derivan dos subtableros: uno de dos puestos ubicado en la sala, destinado al generador de pulsos y con un espacio de reserva; y otro de cuatro puestos ubicado en el cuarto técnico, para alimentar la electrobomba, hidrolavadora, iluminación exterior y equipo de ordeño.

En cuanto a la calidad del suministro eléctrico, EBSA únicamente publica indicadores generales para toda su área de cobertura. Según el informe corporativo más reciente, la empresa registra un valor promedio de SAIDI de 5,27 horas/año (duración media de las interrupciones por usuario) y un SAIFI de 4,46 interrupciones/año (frecuencia media de cortes). Estos indicadores reflejan el comportamiento global del sistema eléctrico en el departamento y se consideran adecuados dentro de los estándares nacionales.

No obstante, la situación observada en la finca ECOCERD difiere de manera significativa respecto a estos promedios. Durante la entrevista realizada, el propietario reportó que las interrupciones del servicio son intermitentes y presentan una variabilidad con duraciones que pueden oscilar desde aproximadamente una hora hasta eventos prolongados de hasta ocho días. Además, se mencionó que dichas interrupciones y fluctuaciones de tensión asociadas han ocasionado daños en varios electrodomésticos, principalmente en televisores, neveras, refrigeradores y lavadora.

Figura 3

Diferentes vistas de la infraestructura externa de la casa.



Nota: Vistas de la infraestructura externa de la vivienda.

Adicionalmente, la familia manifestó que el costo mensual del servicio eléctrico oscila entre \$1.000.000 y \$1.500.000 (según se indica en revisión de facturas), un valor que resulta elevado en relación con los ingresos referidos según el propietario. A esta situación se suma que continúan dependiendo del gas propano para las actividades de cocción debido al temor asociado al uso del biogás disponible en la finca, por lo cual adquieren una pimpina de gas de aproximadamente \$100.000 cada 25 días. Este temor, además de limitar el poder adquisitivo del cliente, constituye una barrera social importante para la adopción de las tecnologías renovables que ya se encuentran disponibles en la finca.

2.2 *Análisis de consumo*

A través de la revisión de facturas del mes noviembre y diciembre del operador EBSA (Ver Apéndice C), se evidencia que los datos técnicos y componentes tarifarios se aplican correctamente, arrojando un gasto diario de \$35.332. Dado que el consumo promedio es de 1.061 kWh, el valor total mensual cobrado resulta coherente con el uso de energía registrado. Esta revisión se realiza como un apoyo adicional para monitorear y comprender el comportamiento eléctrico en el predio.

a) Información técnica

- Nivel de Tensión: Secundaria.
- Clase de Servicio: Comercial.
- Estrato: 4.
- Circuito – Nodo: 14720-16531.
- Propiedad activos: Redes aéreas

b) Datos de consumo

- Consumo Promedio: 1,061 kWh.
- Costo Diario: \$35,332.

c) Componentes Tarifarios

Tabla 1*Componentes tarifarios EBSA.*

Componente	Sigla	Valor
Generación	G	270.1902
Transmisión	T	53.2977
Distribución	D	294.8419

Nota: Componentes tarifarios del servicio de energía eléctrica según factura del operador de red EBSA (2026).

2.3 Entrevista a los usuarios.

Con el propósito de complementar la información técnica obtenida durante la inspección del sitio, se realizaron entrevistas a los usuarios de la finca ECOCERD. Las preguntas realizadas se relacionan a continuación.

Pregunta No.1

¿Cuáles son las fuentes de energía utilizadas en la finca?

Los usuarios indicaron que la energía eléctrica suministrada por la red pública constituye la principal

fuelle energética para las actividades domésticas y productivas. La finca cuenta con una planta eléctrica de respaldo, la cual actualmente está fuera de servicio debido a una falta de mantenimiento correctivo. Asimismo, se evidenció la presencia de un biodigestor tubular operativo; sin embargo, aunque este produce biogás y BIOL de forma continua, únicamente el BIOL es aprovechado para el riego de las praderas. El biogás es liberado y quemado al aire libre, por tanto, no se utiliza para fines domésticos.

Pregunta No.2

¿Cómo es la percepción y el uso actual del biodigestor en la finca ECOCERD?

Los usuarios expresaron que no emplean el biogás debido a temores asociados a su uso. Señalaron que en algún momento recibieron la advertencia de que el biogás podría afectar la estructura metálica de la vivienda, ya sea por generar corrosión en elementos metálicos o por afectar componentes constructivos, lo cual representa para ellos un riesgo significativo.

El biodigestor es alimentado diariamente con estiércol y según los usuarios, no ha presentado fallas técnicas ni estructurales desde su instalación, lo anterior supone que, si el sistema funciona adecuadamente, su potencial energético y térmico no está siendo aprovechado.

Pregunta No.3

¿Cómo afecta la calidad del suministro eléctrico a las actividades de la finca?

Los usuarios reportaron fallas frecuentes en el servicio eléctrico, con interrupciones de hasta 3 o 7 días continuos, lo cual afecta las actividades productivas y domésticas. Aunque consideran adecuada la instalación eléctrica interna, señalan que los problemas provienen principalmente de la red externa. Esta situación expuesta contradice los indicadores disponibles por parte del operador de red.

Pregunta No.4

¿Cuál es el gasto económico actual en servicios energéticos?

Según las facturas del servicio de energía reportados por los usuarios, el costo del servicio eléctrico en la finca ECOCERD oscila entre \$1.000.000 y \$1.500.000 mes, valor que consideran elevado para su capacidad económica y que constituye una de las principales motivaciones para explorar alternativas energéticas que permitan reducir los gastos operativos.

Pregunta No.5

¿Cuáles son las condiciones actuales de producción y operación en la finca?

La finca cuenta con aproximadamente 200 cerdos, lo que permite la producción constante de estiércol para la operación del biodigestor. Asimismo, dispone de acceso permanente al agua y cuenta con suficiente espacio físico para la implementación de nuevos sistemas energéticos, tales como paneles solares fotovoltaicos y el aprovechamiento del biogás para aplicaciones térmicas, lo cual permitiría optimizar el uso de los recursos renovables disponibles en la instalación.

Pregunta No.6

¿Cuál es el nivel de interés de la familia en adoptar nuevas alternativas energéticas?

Los usuarios manifestaron interés en adoptar alternativas energéticas para reducir los costos de operación y asegurar la autonomía de la finca. Este propósito busca mitigar el impacto económico de los servicios convencionales y garantizar la continuidad de las labores productivas ante los constantes cortes de energía en la zona.

Las alternativas mencionadas fueron:

- Implementación de paneles solares fotovoltaicos.
- Uso de baterías e inversores para garantizar la continuidad del servicio de energía

La entrevista realizada a los usuarios de la finca ECOCERD permite concluir que existe una brecha entre el potencial térmico disponible y el uso real que se le da a dicho recurso. Aunque la finca cuenta con un biodigestor en funcionamiento continuo y con producción estable de biogás, el

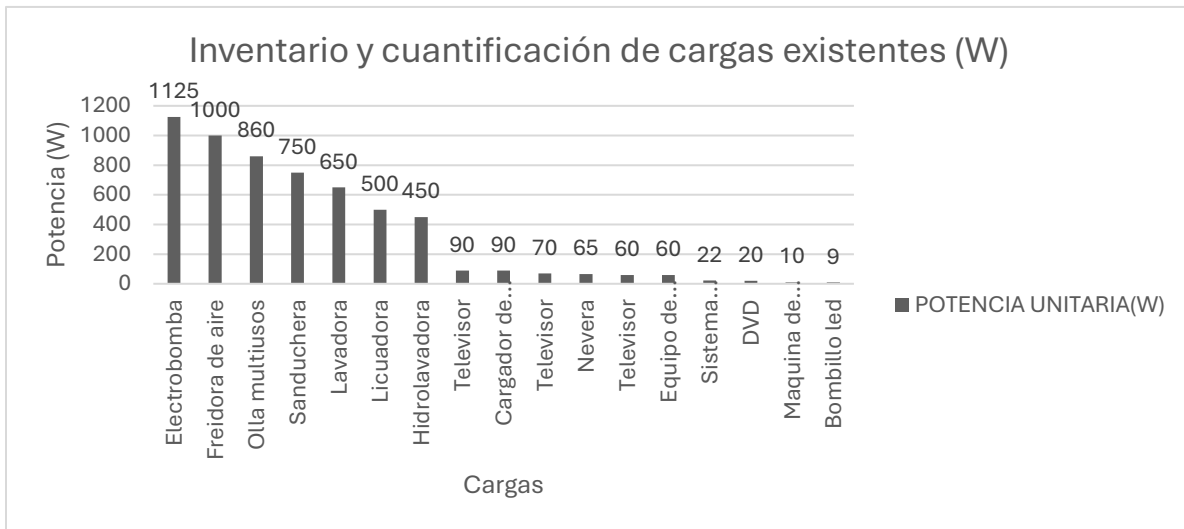
desconocimiento técnico y el temor asociado a su utilización constituyen la principal barrera para su aprovechamiento.

Esta percepción de riesgo ha llevado a que el biogás se queme al aire libre en lugar de emplearse en actividades domésticas o productivas, a pesar de que el sistema nunca ha presentado fallas estructurales.

De igual manera, la alta vulnerabilidad ante las fallas del servicio eléctrico externo y los elevados costos de facturación que alcanzan hasta \$1.500.000 por mes han generado una necesidad crítica de autonomía. Se identifica una disposición favorable de los usuarios hacia la transición energética, específicamente mediante la implementación de sistemas solares fotovoltaicos y la adecuación del biogás para aplicaciones térmicas. Estas alternativas no solo buscan reducir los gastos operativos, sino también garantizar la continuidad de las actividades productivas frente a las deficiencias del suministro tradicional.

2.4 *Inventario de cargas existentes*

Con el fin de determinar la demanda eléctrica actual de la finca ECOCERD, se realizó un inventario de los equipos eléctricos presentes en la finca. La Figura 4 presenta la potencia nominal de cada carga, permitiendo identificar cuáles son las que generan mayor consumo y, por tanto, mayor impacto en la factura eléctrica.

Figura 4*Inventario de cargas existentes.*

Nota: Inventario de cargas eléctricas correspondiente a los equipos presentes en la finca, base para el análisis de demanda energética del proyecto.

El inventario evidencia que las cargas de mayor potencia corresponden a equipos utilizados para actividades productivas y domesticas:

- Electrobomba (1125 W), Freidora de aire (1000 W) y olla multiusos (860 W) son las cargas de mayor potencia.
- Lavadora (542 W), hidrolavadora (450 W), representan cargas relevantes dentro de las actividades de limpieza.
- Las demás cargas corresponden a electrodomésticos de uso frecuente, pero de baja potencia, como televisores, nevera, licuadora, sanduchera, cargadores y pequeños equipos complementarios.

En general, el inventario refleja que las cargas de mayor potencia están asociadas a procesos que requieren funcionamiento continuo o de alta demanda energética. Esta información constituye la base para identificar qué alternativas energéticas resultan más adecuadas para la finca, permitiendo

analizar diferentes opciones que mejoren la eficiencia, reduzcan costos y fortalezcan la confiabilidad del suministro.

2.5 *Estimación de la demanda energética.*

De acuerdo con el levantamiento de las cargas existentes en sitio, se realizó la cuantificación e identificación de los equipos, así como la estimación de sus tiempos de uso. Dado que la plantilla de registro utilizada asume un funcionamiento continuo por hora, fue necesario efectuar un ajuste proporcional en la potencia de aquellos equipos que operan en ciclos de corta duración, comprendidos entre 3 y 15 minutos. Este ajuste permitió modelar el patrón de demanda, obteniendo una relación significativa entre los valores estimados y los registros de la facturación real.

Para obtener este valor, se aplicó un factor de utilización mediante la siguiente fórmula:

$$P_{eq} = P_{nom} * \frac{t}{60}$$

Donde:

- P_{eq} : Potencia equivalente (promedio horario) que se ingresa en la plantilla.
- P_{nom} : Es la potencia nominal o real del equipo.
- t : Es el tiempo real de operación del equipo en minutos.

Para plantear una curva base de la distribución del consumo de energía a lo largo del día, el consumo total se distribuye en porcentajes horarios, con el propósito de estimar posteriormente el perfil de carga del usuario específico a partir del consumo facturado por el operador de red EBSA.

Tabla 2

Estimación de uso de equipos

EQUIPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Nevera	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Licuada									x															
Air Frier 1									x		x													
Air Frier 2																		x						
Sanduchera										x														
TV 40"																								
TV 40"												x	x											
TV 30" CRT																				x	x	x	x	
Maquina de afeitar					x															x	x	x	x	
Lavadora									x															
DVD																								
Cargador Dispositivo Móvil										x											x			
Equipo de Ordeño						x																		
Electrobomba							x										x							
Hidrolavadora								x										x						
Generador de Pulsos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Bombillo led habitación 1					x																			
Bombillo led habitación 2						x																		
Bombillo led baño							x											x						
Bombillo led sala																					x	x	x	
Bombillo led cocina																x								
Bombillo led taller																		x	x					
Bombillo led exterior																					x	x		
Bombillo led exterior																								x

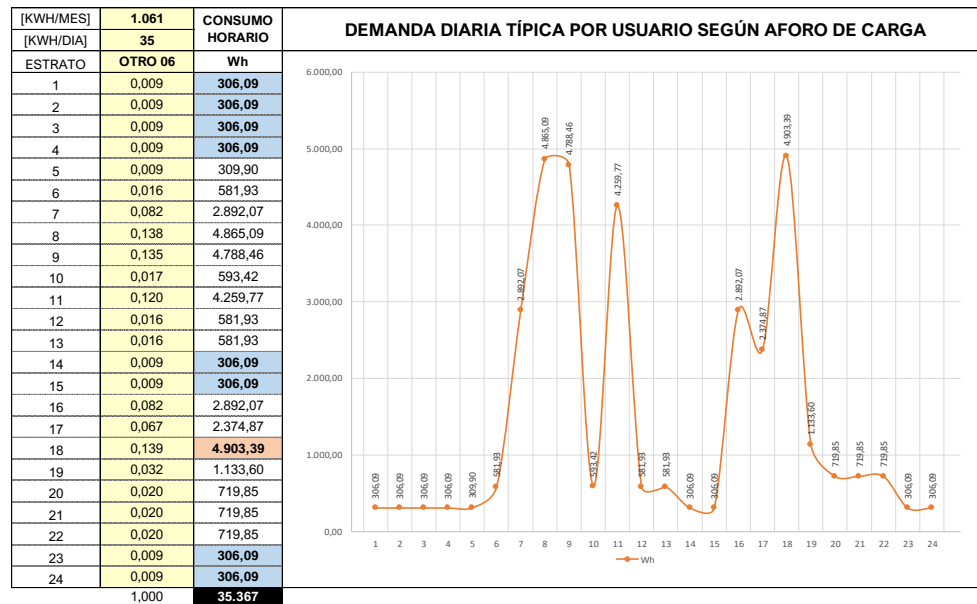
#	ARTEFACTO DE USO DOMÉSTICO	[W]	FP
1	Nevera	45	0.9
2	Licuada	25	0.9
3	Air Frier 1	860	0.9
4	Air Frier 2	1.000	0.9
5	Sanduchera	62.5	0.9
6	TV 40"	60	0.9
7	TV 40"	70	0.9
8	TV 30" CRT	90	0.9
9	Maquina de afeitar	0.83	0.9
10	Lavadora	542	0.9
11	DVD	20	0.9
12	Cargador Dispositivo Móvil	90	0.9
13	Equipo de Ordeño	60	0.9
14	Electrobomba	563	0.9
15	Hidrolavadora	450	0.9
16	Generador de Pulsos	22	0.9
17	Bombillo led habitación 1	9	0.9
18	Bombillo led habitación 2	9	0.9
19	Bombillo led baño	9	0.9
20	Bombillo led sala	9	0.9
21	Bombillo led cocina	9	0.9
22	Bombillo led taller	9	0.9
23	Bombillo led exterior	9	0.9
24	Bombillo led exterior	9	0.9

Nota: Matriz de artefactos de uso final que representa la estimación de demanda energética por aforo de carga.

El comportamiento de la curva de demanda se encuentra directamente relacionado con la rutina diaria de los ocupantes de la vivienda, presentando picos de consumo en horas específicas del día. Dichos incrementos se asocian principalmente a la operación de equipos de mayor potencia utilizados en las labores productivas de la finca, así como a los equipos empleados en la preparación de alimentos. En consecuencia, el perfil de carga identificado resulta determinante para la evaluación técnica de alternativas energéticas, dado que el dimensionamiento de la infraestructura debe considerar no solo el consumo total diario, sino también la capacidad de atender los picos horarios sin comprometer la continuidad y confiabilidad del suministro eléctrico.

Figura 5

Curva de demanda diaria estimada en finca ECOCERD.



Nota: La figura muestra la curva de demanda diaria típica del usuario según el inventario de cargas existentes.

2.6 Análisis de restricciones y oportunidades de mejora en función de las fuentes disponibles en la finca.

A continuación, se presenta la evaluación de las principales restricciones identificadas en el trabajo de campo y las oportunidades de mejora asociadas a las fuentes de energía disponibles en la finca ECOCERD. Este análisis se basa en el diagnóstico del sistema actual con el fin de identificar limitaciones y establecer alternativas que mejoren la eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad del suministro.

Para dar cumplimiento al segundo objetivo específico, se identifican y analizan las principales restricciones del sistema energético de la finca productiva ECOCERD, considerando los siguientes criterios:

2.6.1 Calidad del suministro

Restricciones:

Aunque el operador de red (EBSA) reporta indicadores de calidad aceptables, la visita técnica y las entrevistas revelaron que la finca sufre interrupciones frecuentes y prolongadas, que varían desde una hora hasta ocho días. Estas fallas y las fluctuaciones de tensión han dañado electrodomésticos y afectan las actividades productivas y domésticas.

Oportunidad de mejora:

Es necesario fortalecer la autonomía energética mediante sistemas de respaldo, como paneles solares fotovoltaicos. Esta alternativa reduciría la dependencia de la red externa y mejoraría la confiabilidad, una opción que los usuarios manifestaron interés en implementar durante las entrevistas.

2.6.1 Consumo energético.

Restricciones:

Según la facturación de EBSA, la finca consume en promedio 1.061 kWh mensuales, con costos entre \$1.000.000 y \$1.500.000, cifras elevadas para la capacidad económica del usuario. Adicionalmente, los usuarios dependen del gas propano para las actividades de cocción, con la compra periódica de pampinas, lo que incrementa los costos operativos.

Oportunidad de mejora:

La incorporación de fuentes alternativas de energía, como la energía solar fotovoltaica y el aprovechamiento del biogás, representa un cambio significativo en la gestión energética de la finca, con potencial de generar, a mediano y largo plazo, una reducción progresiva de la factura eléctrica y de los costos asociados al consumo de gas propano.

2.6.2 Instalaciones de uso final.

Con base en el diagnóstico técnico detallado (Ver Apéndice D), se identificó que la infraestructura

eléctrica de la finca ECOCERD presenta diversas deficiencias que incumplen la normativa vigente (RETIE) y ponen en riesgo la continuidad del servicio y la seguridad de los usuarios.

Restricciones:

- El tablero principal no cuenta con puesta a tierra ni tapa frontal; además, presenta tubería inapropiada y cableado a la vista.
- Se evidencia acumulación de polvo y suciedad en los tableros eléctricos.
- El tablero de distribución de la sala presenta óxido, tubería expuesta y cableado sin canalizar.
- No se dispone de tomacorrientes con protección GFCI en las áreas húmedas de baño y cocina.
- Los conductores carecen de rotulación y marcación, haciendo difícil la identificación de los circuitos internos.

Oportunidades de mejora:

- Instalar el frente muerto del tablero de distribución principal.
- Implementar la rotulación y marcación adecuada de tableros y circuitos conforme a la normativa vigente.
- Establecer rutinas periódicas de limpieza y mantenimiento de la infraestructura eléctrica.
- Garantizar la equipotencialización del sistema de puesta a tierra del tablero para la seguridad de las personas y la protección de los equipos.

2.6.3 Aspectos culturales y percepción de los usuarios.

Restricciones:

A través de las entrevistas y la observación en campo, se identificó una barrera social; el temor de los usuarios respecto al uso doméstico del biogás debido a preocupaciones sobre posibles riesgos para la salud o la vivienda. Esta percepción ha causado que el biogás producido sea quemado al aire libre, lo que genera un impacto ambiental negativo y el desperdicio de una fuente de energía gratuita. Esta situación evidencia que el obstáculo no es la falta de recurso ni de tecnología, sino una desconfianza

basada en el desconocimiento del manejo seguro del biogás en el hogar.

Oportunidad de mejora:

A pesar del temor inicial, los usuarios manifestaron una actitud abierta y gran interés en aprender sobre el aprovechamiento del biogás. Esta disposición es una oportunidad clave para implementar un plan de capacitación y acompañamiento técnico. Al brindarles formación sobre protocolos de seguridad, uso de válvulas y mantenimiento preventivo, se puede transformar esa percepción de riesgo en confianza. Esto permitiría finalmente conectar el biogás a aplicaciones térmicas como estufas, calentadores y calefacción, logrando una transición energética real en la finca que sea aceptada y valorada por la familia.

En conclusión, el análisis de la calidad del suministro eléctrico evidencia limitaciones asociadas a la confiabilidad del servicio y al estado de la infraestructura existente. A partir de la evaluación de las restricciones y de las oportunidades de mejora identificadas, se definió orientar el estudio técnico y económico hacia las alternativas de energía solar fotovoltaica y el aprovechamiento integral del biogás, considerando su potencial para fortalecer el desempeño energético del sistema y disminuir la dependencia de fuentes convencionales.

- **Mejora de la infraestructura eléctrica de la vivienda:** Se establece como un requisito previo para cualquier alternativa energética, debido a las deficiencias anteriormente mencionadas en la infraestructura eléctrica existente. Esta intervención es necesaria para garantizar la seguridad de los usuarios, la protección de los equipos y la correcta integración de sistemas como la energía solar fotovoltaica y el aprovechamiento del biogás.
- **Energía solar fotovoltaica:** Se selecciona como la solución principal para mitigar las deficiencias en la calidad del suministro y reducir los altos costos de facturación eléctrica, aprovechando el interés de los usuarios y la necesidad de autonomía frente a los cortes prolongados de la red.
- **Aprovechamiento integral del biogás:** Debido a la disponibilidad constante de este recurso en la finca, se estudiarán formalmente las alternativas de calefacción para cerdos, calentamiento de agua y

cocina. Estas opciones permiten sustituir el uso del gas propano y optimizar el sistema productivo sin generar costos adicionales.

2.7 *Análisis de alternativas de aprovechamiento energético y térmico.*

Las Tablas 3 y 5 contienen la descripción de las alternativas y sus componentes. Asimismo, las **Tablas 4 y 6** presentan el análisis comparativo para identificar la solución más adecuada. Para facilitar la comprensión de la información, se emplea una escala de colores: verde (mejor escenario), amarillo (escenario intermedio) y rojo (escenario desfavorable), lo cual permite identificar de manera visual la alternativa más viable.

2.7.1 *Alternativas de solución aprovechamiento energético.*

Ante la inestabilidad y los elevados costos del servicio eléctrico analizados previamente, esta sección evalúa tres configuraciones fotovoltaicas como posibles soluciones. El análisis se centra en la comparación de sistemas On-Grid sin baterías, On-Grid con baterías (Sistemas híbridos) y Off-Grid, fundamentándose en criterios técnicos y económicos.

Tabla 3

Descripción y componentes estimados de alternativas energéticas para la finca ECOCERD.

PROYECTO:	Alternativas de aprovechamiento de las fuentes de energía disponibles en la finca productiva ECOCERD.		
DOCUMENTO:	Análisis de alternativas de acuerdo con las opciones y expectativas del cliente.		
ALTERNATIVA:	No. 1 Paneles solares ON GRID sin batería	No. 2 Paneles solares ON GRID con batería	No. 3 Paneles solares OFF GRID con batería
DESCRIPCIÓN:	Sistema de generación conectado directamente a la red del operador, diseñado para reducir el consumo eléctrico diurno mediante inyección de energía solar. Esta alternativa no considera el almacenamiento de energía en baterías, por lo que su operación depende de la radiación solar y del suministro de la red.	Solución que combina generación solar con la posibilidad de incorporar banco de baterías para respaldo del consumo energético. Permite operar conectado a la red, priorizar autoconsumo solar, almacenar energía para picos de demanda o contingencias y tomar energía de la red cuando sea necesario. Ofrece flexibilidad operacional, estabilidad ante fallas del operador y optimización del perfil de consumo de la finca.	Sistema totalmente autónomo que incorpora generación solar y banco de baterías para garantizar suministro continuo independientemente de la red del operador. Adecuado para zonas sin conexión o con baja calidad del servicio. Permite una alta confiabilidad, suministro 24/7 y adaptación a cargas críticas de la finca. Requiere mayor inversión por el componente de almacenamiento y el dimensionamiento robusto de electrónica de potencia.
COMPONENTES ESTIMADOS:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Módulos solares fotovoltaicos. 2. Inversor ON GRID. 3. Estructuras de soporte. 4. Cableado AC y DC. 5. Tubería para distribución de cableado eléctrico. 6. Sistema de puesta a tierra. 7. Sistema de protecciones eléctricas (Breakers, DPS). 8. Medidor bidireccional según requisitos del operador de red. 9. Tablero de distribución. 10. Certificado RETIE. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Módulos solares fotovoltaicos. 2. Inversor híbrido. 3. Banco de baterías. 4. Estructuras de soporte. 5. Cableado DC y AC. 6. Tubería para distribución de cableado eléctrico. 7. Sistema de puesta a tierra. 8. Sistema de protecciones eléctricas (Breakers, DPS). 9. Medidor bidireccional. 10. Tablero de distribución. 11. Certificación Retie. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Módulos solares fotovoltaicos 2. Inversor OFF GRID 3. Banco de baterías 4. Estructuras de soporte 5. Cableado DC y AC 6. Tubería para distribución de cableado eléctrico. 7. Sistema de puesta a tierra 8. Protecciones eléctricas 9. Tablero general de distribución 10. Certificación Retie

Nota: Descripción general y componentes estimados de las alternativas energéticas evaluadas para la finca ECOCERD.

Tabla 4

Criterio para el análisis de alternativas energéticas para la finca ECOCERD.

CRITERIO PARA EL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	No. 1 ON GRID sin batería		No. 2 ON GRID con batería		No. 3 OFF GRID con batería	
	VENTAJA	DESVENTAJA	VENTAJA	DESVENTAJA	VENTAJA	DESVENTAJA
TÉCNICO	Confiabilidad técnica alta, se sincroniza con la red y usa ésta como respaldo inmediato. Fácil operación con menos componentes.	No proporciona energía durante cortes de la red; el sistema deja de operar por seguridad. No resuelve el problema de la intermitencia del servicio.	Permite respaldo eléctrico en caso de cortes, priorizando energía solar y cobertura continua mediante baterías.	Mayor complejidad técnica por la integración de baterías y lógica de gestión energética.	Proporciona independencia total de la red y energía continua si el sistema está bien dimensionado, según la expectativa de la demanda.	Requiere diseño meticuloso de perfiles de carga, dimensionamiento de baterías y control dinámico para evitar fallos de suministro.
ESPACIO	Ocupa menos espacio aprovechando solo paneles y equipos de conexión estándar; ideal si el área disponible es limitada.	El espacio ocupado por los paneles no ofrece utilidad adicional como reserva energética, limitando el beneficio del área instalada solo al ahorro económico.	Requiere espacio adicional para instalar banco de baterías y componentes de control asociados.	El aumento de equipos necesita puntos de instalación técnica bien definidos y espacio para ventilación de baterías.	Almacena energía en baterías y paneles; ideal para ubicaciones remotas sin red.	Mayor espacio total requerido para paneles (mayor capacidad para sostener cargas sin respaldo de red) y para las baterías.
MANTENIMIENTO	Mantenimiento simple, limpieza regular de paneles e inspecciones puntuales del inversor. Sin baterías significa menos mantenimiento periódico.	No ofrece respaldo energético, por lo que las interrupciones de red pueden afectar la continuidad del servicio técnico.	Mantenimiento estructurado: además de paneles, baterías requieren monitoreo del estado de carga, temperatura y salud del banco.	Reemplazo de baterías cada ciclo de vida útil (generalmente 8–15 años) puede incrementar costos.	Mantenimiento constante de baterías, controlador de carga y sistema de respaldo es fundamental para asegurar independencia energética.	Mantenimiento más intensivo que en sistemas sin baterías; requiere personal técnico con experiencia en sistemas aislados.

ESCALABILIDAD	Muy fácil ampliar capacidad de paneles o inversores siempre que la red pueda soportar la integración adicional según los requisitos.	La capacidad del sistema está limitada por la capacidad del tablero y del inversor ON GRID y las restricciones legales.	Alta escalabilidad técnica: se pueden añadir paneles y baterías adicionales en función de aumento de demanda.	El crecimiento del banco de baterías exige control de cargas y logística de reemplazo de equipos, también según restricciones legales.	Los sistemas OFF GRID pueden ampliarse añadiendo paneles y baterías para soportar cargas mayores.	Escalar requiere cuidadoso balance entre generación y almacenamiento para evitar ciclos profundos innecesarios.
(CAPEX) Costo de inversión	Corresponde a la alternativa de menor costo de inversión, ya que no requiere baterías. Valor estimado: 24,204.831 El análisis de costos se realizó en base al dimensionamiento técnico de los sistemas fotovoltaicos (Ver Apéndice E)	Corresponde a una inversión de nivel medio-alto. Requiere un inversor híbrido más complejo y un banco de baterías para respaldo en caso de fallas de la red eléctrica. Valor estimado: \$44,648.634 El análisis de costos se realizó en base al dimensionamiento técnico de los sistemas fotovoltaicos (Ver Apéndice E)	Corresponde a la alternativa de mayor costo de inversión. Al ser una solución integral e independiente, requiere un sobredimensionamiento de paneles y un banco de baterías de gran capacidad para garantizar autonomía total. Valor estimado:56,352.839 El análisis de costos se realizó en base al dimensionamiento técnico de los sistemas fotovoltaicos (Ver Apéndice E)			
(OPEX) Costo de operación	Corresponde a la alternativa con el menor costo de operación. Contempla únicamente la limpieza de paneles, el monitoreo digital y revisiones eléctricas preventivas anuales. Supone el pago por consumo en horas nocturnas o cuando la demanda excede la capacidad de generación del sistema.	Corresponde a un costo de operación moderado. Requiere la limpieza de paneles, el seguimiento del estado de carga de las baterías y la gestión de los ciclos de descarga para evitar daños prematuros en el sistema de almacenamiento.	Corresponde a un costo de operación alto. Requiere limpieza de paneles, junto con un mantenimiento preventivo y correctivo riguroso para asegurar la continuidad del suministro y evitar fallas en la fuente de energía.			

Nota: Matriz comparativa de sistemas On-Grid, Híbrido y Off-Grid, evaluados mediante criterios técnicos y económicos para la toma de decisión.

2.7.2 Alternativas de aprovechamiento térmico.

Considerando que la finca cuenta con un biodigestor operativo cuyo potencial térmico no es aprovechado, este apartado evalúa la viabilidad de tres alternativas: calefacción para la zona porcina, el calentamiento de agua para duchas y el suministro de gas para la estufa. En particular, el estudio de esta última opción busca demostrar que su utilización permite reducir el gasto en cilindros de gas y validar técnicamente el sistema existente, garantizando condiciones de seguridad y eficiencia que brinden confianza a los usuarios.

Tabla 5

Descripción y componentes estimados de alternativas térmicas para la finca ECOCERD.

PROYECTO:	Alternativas de aprovechamiento de las fuentes de energía disponibles en la finca productiva ECOCERD.		
DOCUMENTO:	Análisis de alternativas de acuerdo con las opciones y expectativas del cliente.		
ALTERNATIVA:	No. 1 Calefacción a biogás para zona porcina	No. 2 Calentamiento de agua para duchas	No. 3 Suministro de gas para la estufa
DESCRIPCIÓN:	Sistema de aprovechamiento de energía térmica que utiliza el biogás producido en el biodigestor para la calefacción de las áreas de cría porcina. El biogás es conducido hasta las zonas de producción, donde alimenta campanas térmicas de combustión directa que generan calor infrarrojo, proporcionando las condiciones térmicas requeridas para el abrigo de los lechones.	Sistema de aprovechamiento de energía térmica que utiliza el biogás producido en el biodigestor para el calentamiento de agua destinada a las duchas del hogar. El biogás es conducido hasta un calentador adaptado para operar con este tipo de gas, permitiendo disponer de agua caliente mediante combustión directa y aprovechamiento del potencial calórico del biogás.	Sistema de aprovechamiento de energía térmica que utiliza el biogás producido en el biodigestor como combustible para la cocción de alimentos. El biogás es conducido hasta la cocina de la vivienda, donde alimenta una estufa diseñada para su uso doméstico, permitiendo el desarrollo de las actividades de preparación de alimentos de forma continua y segura.
COMPONENTES ESTIMADOS:	1. Campanas térmicas. 2. Kit de conexión entre el biodigestor y equipos gasodomésticos.	1. Calentador de agua. 2. Kit de conexión entre el biodigestor y equipos gasodomésticos.	1. Estufa. 2. Kit de conexión entre el biodigestor y equipos gasodomésticos.

Nota: Descripción general y componentes estimados de las alternativas energéticas evaluadas para la finca ECOCERD.

Tabla 6

Criterio para el análisis de alternativas térmicas para la finca ECOCERD.

CRITERIO PARA EL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	No. 1 Calentador a biogás para zona porcina		No. 2 Calentamiento de agua para duchas		No. 3 Suministro de gas para cocina	
	VENTAJA	DESVENTAJA	VENTAJA	DESVENTAJA	VENTAJA	DESVENTAJA
TÉCNICO	El uso de campanas térmicas de combustión directa permite convertir el poder calorífico del biogás en calor infrarrojo localizado, adecuado para el control térmico en etapas tempranas de cría porcina.	La operación estable del sistema depende de una presión y caudal de biogás relativamente constantes; variaciones en la producción diaria pueden afectar la uniformidad del calentamiento si no se dispone de regulación adecuada.	El calentamiento de agua para duchas presenta una demanda térmica intermitente y de corta duración, lo cual se ajusta al patrón de producción diaria del biogás. La combustión directa del biogás permite elevar la temperatura del agua sin requerir acumulación eléctrica ni sistemas de control complejos.	La eficiencia térmica y la estabilidad de la temperatura del agua dependen directamente de la constancia del caudal y la presión del biogás; variaciones en la alimentación del biodigestor o en la producción diaria pueden provocar oscilaciones térmicas perceptibles durante el uso de la ducha.	La cocción de alimentos requiere potencias térmicas moderadas y tolera variaciones de caudal, lo que la hace técnicamente compatible con la producción de biogás de pequeña escala. El sistema funciona mediante combustión directa, sin necesidad de conversión energética adicional ni equipos de control complejos.	El menor poder calorífico del biogás frente a combustibles comerciales exige quemadores específicos o adaptados, ya que estufas convencionales sin modificación pueden presentar llamas inestables o baja eficiencia.

ESPACIO	Las campanas térmicas se instalan suspendidas sobre las áreas de cría, aprovechando la infraestructura existente de la porqueriza y sin requerir ampliaciones civiles significativas.	Se requiere espacio adicional para el tendido seguro de tuberías de biogás, manteniendo distancias mínimas respecto a fuentes de ignición y tránsito de animales.	Requiere únicamente un calentador compacto, el cual puede instalarse cerca al punto de consumo, reduciendo pérdidas térmicas en tuberías y evitando la necesidad de tanques de almacenamiento. Esto hace que el uso del espacio sea eficiente y compatible con viviendas rurales.	Es necesario destinar un espacio con ventilación natural permanente y protección contra humedad, lo que puede limitar las opciones de ubicación dentro de la vivienda si no se cuenta con áreas técnicas adecuadas.	La estufa a biogás se integra en la cocina existente de la vivienda, sin requerir ampliaciones civiles ni áreas técnicas adicionales, lo que facilita su implementación en un entorno rural.	Es necesario asegurar ventilación natural adecuada en el área de cocción para evitar acumulación de gases no combustibles y garantizar condiciones seguras de operación.
----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

MANTENIMIENTO	El mantenimiento se limita a la limpieza periódica de los quemadores cerámicos y la inspección visual de mangueras, válvulas y uniones, lo cual puede ser realizado por el usuario con capacitación básica.	La presencia de humedad y compuestos sulfurosos en el biogás puede acelerar el deterioro de componentes metálicos si no se implementan rutinas de inspección frecuentes.	El mantenimiento es de baja frecuencia, ya que el uso del sistema se limita a las duchas y no a operación continua. Las tareas principales se concentran en la limpieza de boquillas y del intercambiador de calor lo que reduce la carga operativa para los usuarios.	La presencia de vapor de agua y trazas de compuestos sulfurosos en el biogás puede generar corrosión interna en el calentador si no se implementan rutinas mínimas de inspección, afectando progresivamente el rendimiento térmico.	El mantenimiento es simple y de baja complejidad, limitado a la limpieza periódica de quemadores y revisión de conexiones, tareas que pueden ser realizadas por los usuarios con capacitación básica.	La presencia de humedad y partículas en el biogás puede provocar obstrucción de los orificios de los quemadores, incrementando la frecuencia de limpieza frente a sistemas que utilizan gas propano.
ESCALABILIDAD	El sistema es modular, permitiendo la incorporación progresiva de nuevas criadoras térmicas a medida que aumenta el número de animales o áreas de cría.	La expansión del sistema está directamente limitada por la capacidad de producción del biodigestor, lo que puede requerir su ampliación para soportar mayores demandas térmicas.	La alternativa se ajusta completamente a la infraestructura existente de la vivienda, ya que el calentamiento de agua está destinado a una única ducha, sin requerir ampliaciones del sistema ni modificaciones adicionales.	La escalabilidad es limitada, dado que el sistema está dimensionado para un solo punto de consumo y no contempla la expansión a múltiples duchas.	La alternativa se ajusta adecuadamente al uso doméstico existente, ya que está dimensionada para un único punto de cocción, sin requerir ampliaciones ni modificaciones adicionales del sistema.	La escalabilidad es limitada, debido a que la incorporación de varios puntos de cocción simultáneos podría afectar la estabilidad de la llama, dado el caudal restringido de biogás disponible.

(CAPEX) Costo de inversión	<p>Corresponde a una alternativa con un costo de inversión alto, el cual depende en gran medida del número de campanas térmicas a instalar. Esta opción requiere la implementación de campanas térmicas y el kit de conexión entre el biodigestor</p> <p>Valor estimado: \$3,430.000</p> <p>El análisis de costos se realizó en base a la cotización suministrada por HomeBiogas (Ver Apéndice F)</p>	<p>Corresponde a una alternativa con un costo de inversión medio-alto, debido principalmente al precio del calentador de agua a biogás, los demás componentes del kit de conexión entre el biodigestor y el calentador de agua presentan un costo relativamente menor.</p> <p>Valor estimado: \$1.607.028</p> <p>El análisis de costos se realizó en base a la cotización suministrada por HomeBiogas (Ver Apéndice F)</p>	<p>Corresponde a la alternativa de menor costo de inversión, dado que únicamente requiere una estufa a biogás y el kit de conexión entre el biodigestor y la estufa.</p> <p>Valor estimado: \$510.284</p> <p>El análisis de costos se realizó en base a la cotización suministrada por HomeBiogas (Ver Apéndice F)</p>
(OPEX) Costo de operación	<p>Corresponde a una alternativa de costo de operación medio, ya que, aunque el combustible es producido internamente, requiere mantenimiento periódico de las campanas térmicas y limpieza, con el fin de garantizar una operación continua y segura.</p>	<p>Corresponde a una alternativa de costo de operación bajo, dado que el sistema presenta una operación sencilla y demanda únicamente actividades básicas de mantenimiento preventivo del calentador.</p>	<p>Corresponde a la alternativa de menor costo de operación, ya que su funcionamiento es simple y el mantenimiento se limita a la limpieza de la estufa, sin requerir personal especializado ni intervenciones frecuentes.</p>

Nota: Matriz comparativa de alternativas de sistemas de biogás evaluadas mediante criterios técnicos y económicos para la selección más adecuada.

Tras el análisis de la disponibilidad del recurso y de la oferta tecnológica existente, se descartó la alternativa de generación de energía eléctrica a partir del biogás por las siguientes razones:

2.7.3 Insuficiencia de Recurso

La finca cuenta con una producción estimada de 10 m³ de biogás por día. De acuerdo con las equivalencias energéticas estándar, este volumen representa una potencia nominal de aproximadamente 2.6 Kw (Ver Apéndice G).

Esta capacidad es significativamente inferior a los requerimientos mínimos de los equipos de generación disponibles en el mercado especializado. La mayoría de las soluciones industriales operan con potencias iguales o superiores a los 30 kW, esto significa que la producción de biogás de la finca es insuficiente para alcanzar los niveles requeridos para el funcionamiento de una planta de generación.

2.7.4 Costos elevados y falta de rentabilidad

Tras consultar con proveedores como Novatio y Gelcolsa (Ver Apéndice H), se concluye que este tipo de plantas eléctricas están diseñadas para grandes industrias y no para pequeñas fincas. Existe un problema de costos muy importante, el generador más pequeño que se consigue en el mercado es de 30 kW y tiene un precio de entre 30.000 y 35.000 dólares, lo cual es una inversión exagerada para la pequeña cantidad de energía que se produciría en el sitio. Además, para que el sistema funcione, no basta con comprar el motor; es necesario instalar equipos adicionales para limpiar el gas, realizar obras civiles y montar tableros de control. Al sumar todos estos componentes necesarios para que la planta opere correctamente, el costo total se vuelve imposible de pagar con la poca electricidad que se generaría, haciendo que el proyecto no sea rentable.

En conclusión, se determina que la generación eléctrica a partir de biogás en la finca no es una alternativa viable. A través de las cotizaciones realizadas, se logró identificar que los fabricantes ya tienen establecidos unos valores nominales mínimos para sus equipos; por lo tanto, aunque

técnicamente sería posible fabricar o adaptar un sistema, el costo de fabricación e instalación resultaría mucho mayor que el beneficio económico obtenido por la venta o ahorro de la energía producida. Al no existir un equilibrio entre la inversión y la producción, la alternativa no es rentable.

3. Conclusiones

El análisis desarrollado en las visitas de campo permitió establecer las condiciones energéticas de la finca, evidenciando el estado de la vivienda y las principales demandas asociadas a su operación. A partir de la información recopilada se identificaron aspectos críticos de la infraestructura y del uso de la energía, los cuales constituyen el sustento técnico para la evaluación de las alternativas energéticas consideradas en el estudio.

Los resultados obtenidos a partir de la ficha diagnóstico evidencian deficiencias en la confiabilidad del suministro eléctrico de la vivienda. A partir de la identificación de las principales limitaciones técnicas y de las posibilidades de optimización, se orientó el estudio técnico y económico hacia las alternativas de energía solar fotovoltaica y el aprovechamiento del biogás, considerando su potencial para mejorar el desempeño energético del sistema y reducir la dependencia de fuentes convencionales.

La evaluación realizada permitió contrastar las alternativas energéticas consideradas a partir de su desempeño operativo y su conveniencia financiera. Los resultados obtenidos evidencian las diferencias entre las opciones analizadas, lo que facilitó la identificación de la solución con mayor equilibrio entre viabilidad técnica y rentabilidad económica, de acuerdo con las condiciones y necesidades de la finca.

La percepción del usuario final es determinante para el éxito de la implementación, especialmente en proyectos de innovación social como el biodigestor. No basta con que la tecnología sea funcional; es vital abordar las barreras y los temores de los usuarios respecto al uso de biogás. Sin una estrategia que mitigue este miedo y genere confianza sobre la seguridad, la oportunidad de mejora técnica difícilmente se traducirá en una adopción real y cotidiana.

4. Recomendaciones

Priorizar la adecuación de la infraestructura eléctrica existente, en particular la corrección de los tableros de distribución y la implementación adecuada del sistema de puesta a tierra, como requisito previo a la integración de cualquier alternativa energética. Estas acciones son fundamentales para garantizar la seguridad de los usuarios, el cumplimiento normativo y la protección de los equipos.

Evaluar esquemas de implementación progresiva o combinada de las alternativas energéticas analizadas, priorizando aquellas que requieran menor inversión inicial y generen un mayor impacto en la reducción del consumo de energía convencional, de acuerdo con las condiciones económicas de la finca.

Para el aprovechamiento del biogás, se sugiere complementar el análisis técnico con estrategias de capacitación y acompañamiento a los usuarios finales, orientadas a fortalecer la confianza en el uso seguro de esta fuente energética y facilitar su adopción efectiva en aplicaciones domésticas y productivas.

Finalmente, se recomienda incorporar el componente social como un criterio relevante en la evaluación de proyectos energéticos rurales, dado que la aceptación y apropiación por parte de los usuarios finales influyen de manera determinante en la viabilidad real de las soluciones propuestas.

Referencias bibliográficas

- [1] Unigas S.A.S. (Vidagas). (2024, abril). *Tarifas máximas a los usuarios finales* [Documento de precios regulados].
- [2] Ministerio de Minas y Energía. (s. f.). *Biogás y biometano*. <https://www.minenergia.gov.co>
- [3] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *Los beneficios de las energías limpias en el campo*.
- [4] Acosta Nieto, A. A., C Uribe Muñoz, M. J. (2024). *Obtención de estruvita a partir del digerido producido en la digestión anaerobia de estiércol porcino en clima frío* [Trabajo de grado de pregrado, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio Institucional UIS. <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/9da4c9b6-721f-4ac4-9b44-1bdc459ae6a2/content>
- [5] Sistema.bio. (s. f.). *Soluciones de biodigestores y biogás*. <https://sistema.bio/es/>
- [6] Laumayer. (s. f.). *Tomacorrientes GFCI: qué son y por qué son importantes*. <https://laumayer.com/blog/tomacorrientes-gfci-de-vcp-electric/>
- [7] Asociación Colombiana de Ingenieros Electricistas, Mecánicos y Afines. (2024). *Código eléctrico colombiano NTC 2050*. https://asieb.com/wp-content/uploads/2024/10/NTC_2050_codigo_electrico_nacional.pdf
- [8] Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE)*. <https://www.minenergia.gov.co/documents/9024/9703.pdf>