

**Fuentes de energía renovable que han sido implementadas en actividades de
abastecimiento hídrico agropecuario: caso finca 'La Liliana'. municipio Jimaguayú.
provincia Camagüey. Cuba.**

Nicolas Morales Murillo

**Universidad de Cundinamarca
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Ingeniería Ambiental
Facatativá
2024**

**Fuentes de energía renovable que han sido implementadas en actividades de
abastecimiento hídrico agropecuario: caso finca 'La Liliana' municipio Jimaguayú.
provincia Camagüey. Cuba.**

Nicolas Morales Murillo

**Trabajo de grado. opción pasantía presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Ambiental**

Tutor:

Carlos Jhonnatan Alarcón

Asesoría externa:

Camilo Bonet Pérez

Universidad de Camagüey e Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ingeniería Ambiental

Facatativá

2024

Tabla de contenido

Resumen.....	5
Introducción	5
Planteamiento del problema.....	7
Justificación.....	8
Marco Referencial.....	9
Marco Teórico	9
Marco Conceptual	11
Marco Legal	12
Objetivos	14
Objetivo general	14
Objetivos específicos.....	14
Recursos físicos y talento humano.....	14
Ubicación.....	14
Infraestructura y equipos	15
Metodología.....	16
Resultados y análisis	23
1.Revisión de antecedentes	23
1.1 Lista de verificación	28
1.2 Matriz multicriterio	33

2. Características actuales de los sistemas alternativos renovables de la finca “la Lilianas.....	36
2.1 Eficiencia del sistema alternativo eolico.....	37
2.2 Eficiencia del sistema alternativo fotovoltaico.....	40
2.3 Comparación de la energía aprovechable del sistema eólico y fotovoltaico.....	49
3. Alternativa propuesta.....	51
Conclusiones	56
Recomendaciones.....	56
Referencias Bibliográficas	57
ANEXOS	61

Resumen

En Cuba la inestabilidad energética, especialmente en el municipio de Camagüey han llevado a implementar Fuentes Renovables de Energía (FRE) como la eólica y la fotovoltaica para apoyar el suministro de agua en actividades agropecuarias. En este contexto la finca “La Liliana” dedicada a la crianza de bovinos, ha adoptado estos sistemas; sin embargo, su efectividad se ve limitada por factores como, el control y mantenimiento deficiente de los sistemas energéticos aprovechables y el desconocimiento de las características técnicas de las instalaciones. (de la Rosa Andino. 2017).

El proyecto evaluó la eficiencia de los sistemas eólico y fotovoltaico instalados en la finca La” Liliana” para el abastecimiento hídrico del sector agropecuario, analizando variables climáticas, técnicas y metodológicas junto con información cualitativa y cuantitativa que proporcionaron un panorama claro de los sistemas. Se determinó que el sistema fotovoltaico tiene una eficiencia del 10 % y el eólico del 20 %. Sin embargo, factores como desconocimiento en la operación, mantenimiento deficiente de los sistemas energéticos, el aprovechamiento subóptimo de la energía disponible y el desconocimiento de las características técnicas de las instalaciones dan como resultado una necesaria intervención y mejora significativa de estos, para así lograr el uso sostenible de los sistemas utilizados para el abastecimiento hídrico agropecuario.

Palabras Clave

Eficiencia, Sistemas eólico y fotovoltaico, almacenamiento hídrico, control, abastecimiento.

Introducción

A lo largo de los años, Cuba ha avanzado significativamente en la incorporación de energías renovables como parte de su estrategia ambiental y de desarrollo sostenible. Este

enfoque busca reducir la dependencia histórica de los combustibles fósiles, mientras se establece una infraestructura energética que necesita modernización.

Dado que las energías renovables han sido clave en el desarrollo global del siglo XXI, las Fuentes Renovables de Energía FRE se han posicionado como una alternativa eficaz para minimizar el impacto ambiental de los procesos productivos, buscando ser una solución viable y sostenible en este ámbito.

Según Wark y Warner (1985), el uso de FRE representa la transición de un país en busca de nuevas alternativas para convertirse en un modelo sostenible, al satisfacer sus necesidades y aprovechar adecuadamente sus recursos naturales, además, es relevante señalar que la reducción del 80 % en el uso de fuentes fósiles en Cuba está vinculada al agotamiento de estos recursos tanto a nivel local como global, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas ante la escasez energética del país (Villarino y Ríos. 2013). En este sentido, las FRE se han implementado en Cuba como una solución frente a desafíos que representan los problemas energéticos y factores que dificultan el desarrollo del país.

El uso de Fuentes Renovables de Energía en el sector agropecuario se ha convertido en una necesidad esencial, especialmente en la producción de leche, que es uno de los principales motores de este sector y que se benefician de la energía proporcionada por las energías alternativas. Por otro lado, las variaciones climáticas, la falta de energía y la escasez de agua, han afectado gravemente el bienestar del ganado, lo que ha generado un impacto significativo en su productividad y salud, provocando un aumento considerable en la mortalidad, con una pérdida registrada de 1 490 cabezas ganado anuales (FAO 2002). Estas problemáticas subrayan la importancia de implementar soluciones sostenibles, en este caso los sistemas eólicos y fotovoltaicos que garantizan ser una alternativa de respaldo a la falta energética del país. En este

contexto, las energías eólica y solar se han considerado como las alternativas más eficientes para apoyar el proceso ganadero (Martínez y Martínez. 2014), sin embargo, su sostenibilidad se ha visto comprometida por una implementación ineficaz, lo que ha generado problemas que impactan tanto el funcionamiento de los sistemas de FRE como el desarrollo del sector agropecuario.

Este proyecto tiene como objetivo evaluar el estado actual y la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos y eólicos que abastecen de agua las actividades agropecuarias de la finca “La Liliana”, mediante una comparación de la energía potencialmente aprovechable y la energía realmente aprovechada con fines de optimización en el uso de las FRE, para así, generar una finca productora que aporte significativamente a la sostenibilidad en el período 2016-2030.

Planteamiento Del Problema

La escasez energética ha tenido un impacto profundo en el sector agropecuario cubano, afectando significativamente su productividad y sostenibilidad. Según Silvano et al. (2016), en 2013 el consumo anual de combustible en Cuba alcanzó casi 9 millones de toneladas, de las cuales más del 50 % fueron importadas, una situación que marcó el inicio de una crisis energética agravada en años posteriores por la escasez de combustible. Esto redujo la capacidad operativa de las termoeléctricas del país e hizo presencia en apagones masivos en Cuba, especialmente en Camagüey. Según lo anterior esto implicó una falta de energía eléctrica para el bombeo del suministro de agua y sumo al deterioro de las actividades agropecuarias, particularmente en la provincia Camagüey.

Según MINAG (2018) el 51 % de las zonas rurales corresponden al sector agropecuario de Camagüey siendo esto equivalente a 670 912 ha, donde, el sector agropecuario de la provincia ha visto interés en el uso de las FRE, con el fin de subsanar la escasez de energía para el bombeo

del abastecimiento hídrico al sector agropecuario, sin embargo, la problemática principal, se ha evidenciado en la presencia de características inadecuadas o no tenidas en cuenta que desfavorecen los procesos de implementación, desarrollo, infraestructura de los sistemas alternativos fotovoltaico y eólico usados diariamente en la finca la Liliana, en gran medida, a factores secundarios como las condiciones climáticas de la zona, así como al manejo y mantenimiento inadecuado de los recursos. Estos elementos, tanto de forma directa como indirecta, afectan negativamente la eficiencia del sistema, impactando de manera significativa en el aprovechamiento de energía para el bombeo del abastecimiento hídrico para uso agropecuario.

Justificación

En Cuba se presentan diversas dificultades económicas y políticas, sin embargo, estas no son consideradas como un impedimento para apuntarle a la sostenibilidad; por ello se considera que las energías renovables son una apuesta de carácter primordial que paulatinamente se han establecido como parte del desarrollo económico en el país (Gaceta Oficial de la República, 2024), sí bien la transición del uso de combustibles fósiles a FRE que en general toda la isla ha implementado durante el transcurso del tiempo se ha enfocado principalmente en suplir alguna necesidad e incentivar el uso de fuentes secundarias en pro de la sostenibilidad a mediano y largo plazo, cumpliendo así con los objetivos de desarrollo sostenible para el 2030.

Las FRE se implementan como una solución a diversas problemáticas energéticas, buscando optimizar el uso de los recursos naturales y mejorar la eficiencia en la producción y los servicios, de esta manera, se fomenta el ahorro energético y se contribuye a un desarrollo más sostenible, tal como señalan Benítez et al. (2014).

Aunque existen diversos proyectos en Cuba que promueven la implementación de FRE en distintas regiones, estos sistemas suelen enfrentar factores que limitan y reducen su

funcionalidad, por ello, es fundamental garantizar la efectividad de estas alternativas en todo el proceso. Según De la Rosa et al. (2014), apostar por la transformación energética es de gran importancia, pero requiere información precisa para verificar los procedimientos y equipamientos necesarios que aseguren las capacidades técnicas y administrativas indispensables para el seguimiento, control y consolidación de las medidas aplicadas en las unidades agropecuarias, en este sentido, realizar una evaluación del estado actual de los sistemas FRE (eólico y fotovoltaico) implementados en Camagüey es fundamental para evaluar la eficiencia de dichos sistemas. Este análisis permitirá identificar sus principales características y determinar las áreas que requieren mejoras, además, facilitará la generación de propuestas de manejo que optimicen el aprovechamiento de las fuentes renovables, asegurando el uso en el sistema agropecuario para la finca “La Liliana”.

Marco Referencial

Marco Teórico

Las energías renovables se definen como aquellas fuentes de energía que se obtienen de recursos naturales inagotables o que se regeneran de manera continua como la radiación solar o el viento; estas fuentes se destacan por su capacidad de generar electricidad sin emitir gases contaminantes hacia la atmósfera, evitando así impactos negativos como el cambio climático, lo que aporta a la reducción de gases de efecto invernadero (Bravo Hidalgo. 2015); por consiguiente, las energías eólica y solar han representado una alternativa viable y sostenible para satisfacer las demandas energéticas en la provincia de Camagüey que han alcanzado el 5.5 %, cifra que aún representa un porcentaje bajo, por lo cual se tiene previsto que la generación eléctrica a partir del empleo de FRE para el 2030 alcance el 25 % (Periódico Granma. 2023) aportando así a mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales y fomentando también el

desarrollo económico mediante la reducción de los costos operativos en actividades de ganadería.

Los cambios climáticos presentes en todo el territorio de Cuba han afectado directamente a todos los sectores económicos, donde los patrones de lluvia, las sequías prolongadas, y los fenómenos meteorológicos extremos como vientos fuertes, cambios en las radiaciones solares, huracanes y entre otros, han podido generar pérdidas significativas en las cosechas, reducir la producción de alimentos y afectar la captación de energía aprovechable en los sistemas alternativos implementados en el municipio de Jimaguayú.

Durante los últimos años, se han presentado impactos negativos como los ya mencionados, los que han provocado pérdidas económicas e impactos altamente negativos en los sectores socio económicos (Fonseca Rivera. 2019). Uno de los más representativos sucesos según (Pérez et al. 2019) sucedió entre 2001 y 2017 donde la presencia de 12 huracanes fue el eslabón de sequías prolongadas que limitaron el acceso al agua, lo que afectó negativamente la salud del ganado y la producción de alimentos básicos como el maíz, la caña de azúcar y el arroz, siendo esto el punto de partida para que los agricultores se adaptasen continuamente a los cambios climáticos.

Con base en la investigación, la integración de la energía eólica y solar en el sector agropecuario de la provincia de Camagüey tiene el potencial de aumentar su sostenibilidad económica y ambiental, con el fin de hacer uso eficiente de la energía y así suplir esas problemáticas energéticas y de variaciones climáticas que de una u otra manera recaen al sistema agropecuario (Álvarez et al. 2006), se sigue trabajando en la educación de los productores agropecuarios en el uso de las energías renovables, para no cometer errores de control por la falta de preparación que impidan los avances y el óptimo uso de las FRE (Martínez. 2014).

Marco Conceptual

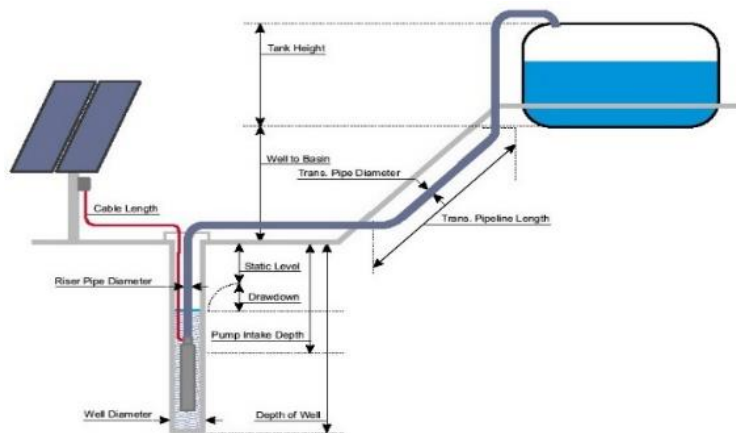
El marco de esta investigación se basa en la definición y análisis de conceptos primordiales para el entendimiento y desarrollo correcto del tema estudio de FRE, por otro lado, estos conceptos dan apertura a contextualizar y a dar orden en la investigación.

La energía eólica, es una tecnología alternativa que se ha mantenido por muchos años en Cuba, principalmente para abastecimiento de agua en sistemas productivos agropecuarios; aprovechando su no dependencia del combustible. se ha usado como alternativa por la cultura cubana desde aproximadamente hace dos siglos (Abad Caballero. 2017). Esta tecnología renovable, se ha sumado en ser una energía alternativa favorable por su bajo impacto ambiental, caracterizándose como tecnología fuerte para el abastecimiento, almacenamiento y uso del recurso hídrico, por último, a pesar de las variaciones climáticas presentes en Cuba se ha caracterizado por mantener el potencial, permitiendo así su funcionamiento de modo continuo en todo el país (Ríos. 2018).

La tecnología basada en el empleo de la energía solar o fotovoltaica emplea paneles solares, debido a que su función es captar la energía emitida por los rayos solares y convertirla en energía eléctrica; en el caso de la ganadería, la energía solar puede cumplir, entre otras, la función de suministrar la energía necesaria para extraer agua y distribuirla a los animales para su alimento o para el almacenamiento (Grundfos. 2017).

Figura 1

Esquema de instalación de bomba con panel solar



Nota. Tomado de Grundfos (2017).

La captación de agua desde estanques o pozos es una actividad que permite la creación de alternativas que brindan una funcionalidad estratégica en momentos de sequía o de escasez (Fonseca. 2015).

Por último, la sostenibilidad es un concepto que Cuba está tratando de consolidar en cada uno los procesos que implementa, por ejemplo, mediante el empleo de FRE en el sector ganadero. Este término engloba la capacidad de ejecutar o implementar un sistema para mantener su productividad a largo plazo sin afectar a los recursos naturales ni la calidad de vida de las futuras generaciones, según Macias et al. (2015) la sostenibilidad se basa en el principio de lograr transformaciones favorables en contra de las condiciones negativas que impone el cambio climático.

Marco Legal

Actualmente Cuba. cuenta con poca reglamentación ambiental. en la tabla # 1 se representa la legislación con mayor relevancia para este estudio. según el uso de las FRE en la agricultura.

Tabla 1

Normativa de Camagüey

Leyes	Título	Descripción	Ítem
Decreto - Ley No. 345	Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía.	Establece el aporte y funcionalidad de las fuentes de energía renovable en la sostenibilidad para el año 2030.	Art. 3
Ley No. 124	De las aguas terrestres	Establece la gestión integrada de las aguas terrestres. recurso natural renovable y limitado, además, esta ley requiere de una eficaz planificación. dirigida a satisfacer el interés general de la sociedad y el medio ambiente. con el fin de garantizar su preservación.	Art. 1.1 Art. 3.1 Art. 5.1 Título III
Resolución No. 124	Regulaciones para elevar la gestión, la eficiencia y la conservación energéticas	Establece el control de los sistemas energéticos de grandes entidades y de personas jurídicas y estatales.	Art. 1 Art. 3
Resolución No. 141	Comercialización de equipos de fuentes renovables	Establece los permisos y controles para el transporte público y privado de los equipos que emplean fuentes renovables	Art. 1.1 Art. 2
Resolución No. 123	Cumplimiento del desarrollo de las fuentes renovables.	Establece el control y los requisitos a cumplir por las organizaciones de dirección empresarial, sistemas empresariales provinciales y entidades presupuestales en sistemas de FRE	Art. 1 Art. 2 Art. 3 Art. 4
Ley 161 /2022	Ley de fomento y Desarrollo de la ganadería	Establece estrategias de Desarrollo Económico y Social para el 2030 de Cuba y las medidas encaminadas a dinamizar la producción agropecuaria que determinan como máxima prioridad la producción de alimentos.	Capítulo I Capitulo II Capitulo III

Nota. (Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía. 2019).

(De Las Aguas Terrestres. 2017). (Regulaciones Para Elevar La Gestión. Eficiencia Y Conservación Energética. 2019). (Procedimiento para la comercialización de equipos que utilicen fuentes renovables y para el uso eficiente de la energía. 2019). (Cumplimiento del

desarrollo de las fuentes renovables. 2019) y (Ley de Fomento y Desarrollo de la Ganadería. 2023).

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el estado actual y la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos y eólicos que abastecen de agua las actividades agropecuarias de la finca “La Liliana”, mediante una comparación de la energía potencialmente aprovechable y la energía realmente aprovechada con fines de optimización.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar información cualitativa y cuantitativa, teniendo en cuenta factores críticos sobre las características, el uso, estado y mantenimiento actual de los sistemas fotovoltaico y eólico y procesos secundarios implementados en la finca “La Liliana”.
2. Determinar la eficiencia de los sistemas fotovoltaico y eólico, implementados en la finca “La Liliana”, teniendo en cuenta las características climatológicas, técnicas, humanas (en el uso) y los demás factores externos que influyen en su funcionamiento.
3. Proponer estrategias administrativas y de gestión para el manejo y mejora de los sistemas fotovoltaico y eólico basadas en optimización de los sistemas alternativos renovables.

Recursos Físicos y Talento Humano

Ubicación

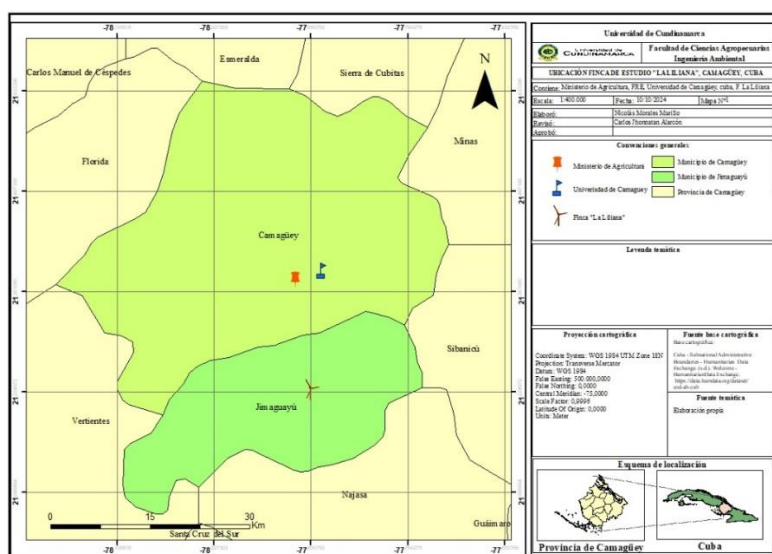
La investigación se desarrolló en la provincia de Camagüey, se encuentra ubicada en el centro-este de Cuba. Geográficamente la provincia de Camagüey se sitúa en las coordenadas 21°22'50"N y 77°55'01"O, limita al Este con la provincia Las Tunas y al Oeste con la provincia

Ciego de Ávila, cuenta con 13 municipios incluyendo el municipio de Camagüey como cabecera provincial. La ciudad cabecera, con el mismo nombre de la provincia, cuenta con una población de aproximadamente 300 000 habitantes, destaca por su rica historia y cultura, su Centro Histórico ha sido declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, (de la Caridad Mola Fines 2023).

La investigación se desarrolla en la finca “La Liliana”, $21^{\circ}13'49''N$ y $77^{\circ}54'2''O$, ubicada en el municipio Jimaguayú, en el centro este de la provincia (Figura 2).

Figura 2

Mapa de ubicación del estudio



Nota. *Elaboración propia.*

Infraestructura y Equipos

Esta pasantía se realizó con acompañamiento de equipos de trabajo de la Universidad de Camagüey. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) del Ministerio de Agricultura y productores de la finca “La Liliana”.

Personal.

Esta investigación se desarrolló por el estudiante de Ingeniería Ambiental Nicolas Morales de la Universidad de Cundinamarca. Extensión Facatativá. Colombia; con asesoramiento del colectivo de profesionales del IAgric en la provincia de Camagüey; guiados por el Dr. C. Camilo Bonet Pérez. líder de dicho colectivo de investigadores. Investigador y Profesor Titular y tutor de este proyecto, con la ayuda de la Dr. C. Bárbara Mola Fines, Investigadora Agregada y Profesora Asistente, la Dr. C Dania Rodríguez Correa, Investigadora Agregada y Profesora Instructora y el Ing. Yordanis Roja Ramírez. Especialista Principal del colectivo del IAgric Grupo Centro; además, se contó con la colaboración del dueño de la finca “La Liliana”.

Metodología

Caracterizar información cualitativa y cuantitativa, teniendo en cuenta factores críticos sobre las características, el uso, estado y mantenimiento actual de los sistemas fotovoltaico y eólico y procesos secundarios implementados en la finca “La Liliana”.

Inicialmente, se llevó cabo una revisión bibliográfica para identificar las zonas agropecuarias de la provincia de Camagüey que hayan implementado fuentes de energía renovable, específicamente de tipo eólico y fotovoltaico. Una vez recopilada esta información, se analizaron las características más relevantes, las cuales fueron evaluadas durante la visita a la finca "La Liliana".

En segundo lugar, se clasificaron los diferentes aspectos de los sistemas energéticos, como el proceso de instalación, los métodos de monitoreo, las actividades de mantenimiento realizadas y los elementos clave en la implementación de estas alternativas renovables. Este análisis permitió determinar la situación actual y las características más relevantes en la implementación de los sistemas fotovoltaicos y eólicos, proporcionando una base sólida para

comprender su funcionamiento y aspectos significativos en el uso de alternativas sostenibles para el sector agropecuario.

En la tercera etapa, con la información bibliográfica y los antecedentes recopilados, se elaboró una lista de verificación para evaluar el estado actual de los sistemas fotovoltaicos y eólicos instalados en la finca "La Liliana". Esta evaluación considera aspectos claves como la infraestructura del sistema, los factores climáticos necesarios para su correcto funcionamiento, las técnicas implementadas, los procesos de control, la instalación de equipos, el análisis del área de estudio, y las características de seguridad y control. Además, se analizaron temas relacionados con la importancia del uso de los sistemas fotovoltaico y eólico, el impacto en los trabajadores y propietarios, y las posibles implicaciones de fallas en los sistemas. Todo esto permitió evaluar su situación actual en relación con el suministro o abasto de agua para los bovinos en la zona de estudio (Finca "La Liliana"). Durante la visita a la finca, se realizó la lista de verificación, lo que permitió analizar lo evidenciado.

En la fase final, los resultados obtenidos a través de la lista de verificación permitieron evaluar el sistema de Energías Renovables, tanto fotovoltaico como eólico, así como los procesos secundarios actuales de la finca, utilizando una matriz multicriterio. Esta matriz sirvió para valorar las características principales de los sistemas fotovoltaico y eólico en función de aspectos técnicos, ambientales y sociales; para cada uno de estos aspectos, se asignó una puntuación de 0 a 3, donde 0 indica una influencia nula (es decir, sin impacto en los aspectos evaluados), 1 refleja una influencia baja, 2 una influencia media y 3 una influencia alta. Tras la evaluación de todas las características, se determinó la situación actual en función del valor total obtenido, el cual pudo clasificarse como bajo, moderado, alto o crítico. En el caso de una

clasificación crítica o alta, se considera necesaria una intervención para mejorar y abordar las debilidades identificadas en el proceso sostenible implementado.

Determinar la eficiencia de los sistemas fotovoltaico y eólico, implementados en la finca “La Liliana”, teniendo en cuenta las características climatológicas, técnicas, humanas (en el uso) y los demás factores externos que influyen en su funcionamiento.

Con el fin de determinar la eficiencia del sistema de FRE fotovoltaico y eólico implementado en la finca “La Liliana” en las condiciones actuales para el cumplimiento del uso agropecuario, se realizó un análisis de las características climatológicas del municipio de Jimaguayú, para ello se aplicó la metodología utilizada por Pérez et al. (2019), por medio de ésta se logró identificar la energía cinética del viento, la energía solar incidente, así como la potencia eólica y solar aprovechable generada, entre otras, para ello se implementaron las siguientes ecuaciones.

A su vez en **primer lugar**, para seguir la metodología se determinó la potencia aprovechable del aerogenerador según las condiciones actuales que se manejan para su funcionamiento, para lo cual se tuvo en cuenta el área de la máquina (ecuación 1) y las características de las condiciones climatológicas (vientos) que fueron brindadas por el centro meteorológico provincial de Camagüey para el periodo de tiempo entre enero a noviembre, donde estos datos son de relevancia para conocer la potencia eólica aprovechable como se evidencia en la ecuación 2.

Área de la máquina (aerogenerador)

$$A = \pi r^2$$

Ecuación (1)

Donde:

A. Área del aerogenerador (m²)

r. Radio del aspa (m)

Potencia eólica aprovechable

$$Pea = \frac{1}{2} \rho * A * v^3 * Cp$$

Ecuación (2)

Donde:

Pea. Potencia eólica aprovechable (W)

ρ . Densidad del aire (kg/m³)

A. Área de la máquina eólica (m²)

v. Velocidad del viento (m/s)

Cp. Coeficiente de potencia, en función de la velocidad del viento; teóricamente depende del tipo de rotor; su valor es de 0.45 para rotores hélices de alta velocidad y de 0.30 para rotores múltiples de baja velocidad (aerogenerador para bombeo, tipo de rotor).

Para conocer la eficiencia del aerogenerador, **en segundo lugar**, se tuvo en cuenta la potencia eólica aprovechable y la energía cinética del viento; la cual ayudo a conocer la energía que posee el flujo de aire que atraviesa y es transformada en potencia mecánica al momento de generar movimiento en las aspas, ecuación 3 con esto se contó con la información necesaria para determinar la eficiencia del proceso eólico en condiciones actuales según la ecuación 4.

Energía cinética del viento

$$E = \frac{1}{2} \rho * A * v^3$$

Ecuación (3)

Donde:

E. Energía cinética del viento (W)

ρ . Densidad del aire (1.2 kg/m³)

A. Área de la máquina eólica (m²)

v. Velocidad del viento (m/s)

Según los datos obtenidos anteriormente, ya en **tercer lugar** se determinó la eficiencia del sistema eólico con ayuda de la energía cinética del viento y la anergia aprovechable del sistema.

Eficiencia del aerogenerador

$$n = \frac{Pea}{E} * 100\%$$

Ecuación (4)

Donde:

n. Eficiencia del aerogenerador %

Pea. Potencia eólica aprovechable (W)

E. Energía cinética del viento (W)

Por otro lado, en el **cuarto paso**, para el caso del sistema fotovoltaico, se realizó el cálculo de la cantidad de energía incidente en el área de estudio teniendo como punto de partida los datos medios horarios de cada mes de radiación solar del municipio de Jimaguayú, valores suministrados por el centro meteorológico de Camagüey, aparte de esto se calculó la potencia promedio diaria que serán valores importantes para determinar el cálculo de potencia solar aprovechable.

Energía solar incidente kWh actual

$$Ei = \frac{\sum \text{Valores medios horarios de la radiación solar} * A * \eta}{1000}$$

Ecuación (5)

Donde:

Ei. Energía solar incidente kWh

\sum Mh. \sum Valores medios horarios de la radiación solar (kW)

A. Área de los paneles solares (m^2)

η . Eficiencia de los paneles solares (%)

Potencia promedio diaria del panel solar kWh/m²/día actual

$$P_{promed} = \frac{E_i}{\text{horas de radiación solar}}$$

Ecuación (6)

Donde:

P_{promed} . Potencia promedio diaria del panel solar (kWh/día)

E_i . Energía solar incidente (kWh)

H. Horas de radiación solar

Como **quinto paso**, se determinó la energía aprovechable, la cual será clave para definir qué tanta energía solar es efectiva para convertirla en energía eléctrica, tal como se evidencia en la ecuación 8.

Energía solar aprovechable actual

$$P_s = HT * t * \% \text{ de pérdidas}$$

Ecuación (7)

Donde:

P_s . Potencia solar aprovechable (kW)

HT. Potencia promedio diaria del Panel Solar Fotovoltaico (kWh/ día)

% . Porcentaje de pérdidas del sistema

t. Tiempo de radiación solar aprovechable (h)

Para la eficiencia del sistema fotovoltaico y **sexto paso**, se tuvo en cuenta el valor de energía incidente y aprovechable este cálculo, teniendo que este valor nos determinaría que tanta energía solar se convierte en energía útil.

Eficiencia del sistema panel fotovoltaico

$$E_{solar} = \frac{P_s}{E_i} * 100\%$$

Ecuación (8)

Donde:

E_{solar} . Eficiencia del sistema panel fotovoltaico %

P_s . Potencia solar aprovechable (kWh)

E_i . Potencia solar incidente (kWh)

Proponer estrategias administrativas y de gestión para el manejo y mejora de los sistemas fotovoltaico y eólico basadas en optimización de los sistemas alternativos renovables.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la revisión de antecedentes, el análisis de la lista de chequeo o verificación, la matriz multicriterio y la determinación de la eficiencia de los FRE fotovoltaico y eólico de la finca “La Liliana” con las características actuales; se generaron estrategias administrativas y de gestión, con el fin de optimizar los sistemas alternativos energéticos actuales, para así suplir la demanda hídrica necesaria de la finca, por medio de una eficiencia favorable de los sistemas fotovoltaico y eólico y mitigando la pérdida del recurso hídrico captado; garantizando el correcto manejo de la captación, distribución y estimación de almacenamiento hídrico de la finca en su sector ganadero. De esta manera se pretendió brindar un mejor desarrollo para la finca “La Liliana” en sus sistemas renovables en conjunto a los procesos agropecuarios.

Resultados y Discusión

1. Revisión de antecedentes

A partir de la revisión de la literatura previa seleccionada por el docente tutor, la cual incluía trabajos en los que él participó, junto con el comité del Ministerio de Agricultura de Camagüey, se llevó a cabo la identificación de las características de variables climáticas, técnicas, metodológicas e información cualitativa y cuantitativa esencial para la implementación y el adecuado funcionamiento de los sistemas fotovoltaico y eólico en el proceso de aprovechamiento energético para los sistemas agropecuarios.

Para garantizar la validez y pertinencia de los métodos empleados como la lista de verificación y la matriz multicriterio, se llevó a cabo mediante la comparación de la metodología empleada en la literatura científica relevante de la provincia de Camagüey y la aprobación del equipo de trabajo del Ministerio de Agricultura, conformado por el Dr. C. Camilo Bonet Pérez, líder del colectivo de investigadores, la Dr. C. Bárbara Mola Fines, la Dra. C. Dania Rodríguez Correa y el Ing. Yordanis Roja Ramírez, especialistas principales del IAgric.

Además, se consideraron experiencias previas similares en proyectos desarrollados por el ministerio y se determinó la confiabilidad de los criterios seleccionados y la correcta estructuración de los procedimientos empleados para garantizar la aplicabilidad de la lista de verificación y la matriz en el contexto específico de la finca “La Liliana”.

La tabla 2 ofrece una visión general de las características que contemplan los estudios previos con título (Eficiencia Energética en el abasto de agua para consumo animal en la UEB Genética Los Pinos de la Empresa Pecuaria Triángulo Tres), (Propuesta de estrategia energética para abasto de agua en la ganadería), (Tecnologías integradas para el abasto de agua y el riego en la ganadería vacuna en el municipio Jimaguayú), (Agro voltaica, la simbiosis de la generación

fotovoltaica y la agricultura como que exploran la integración de energías eólica y fotovoltaica en procesos agropecuarios y de riego) y (Aprovechamiento de la energía empleada en el riego por aspersión), (Abad Caballero. 2017), (de la Claridad Mola Fines. I.B. 2023), (Pérez et al. 2019), (Camilo Bonet Pérez et al. 2020), (Gutiérrez Urdaneta. 2022), estos estudios coinciden en la importancia de tener en cuenta los factores climáticos como la velocidad del viento, la radiación solar y factores administrativos como lo son, de control, mantenimiento, la ubicación de los paneles y del aerogenerador, eficiencia del sistema, horarios importantes para el aprovechamiento del recurso energético, vientos de mayor magnitud, conocimiento y capacitación hacia los operarios (Abad Caballero. 2017), (de la Claridad Mola Fines. I.B. 2023), entre otros, que subrayan la necesidad de ser implementados de una manera similar en la finca la Liliana para el aprovechamiento de la energía en los sistemas energéticos renovables, debido a que desde su instalación estos no han contado con ningún control o revisión, implicando así un deterioro de los mismos al pasar del tiempo, afectando el uso para el sector agropecuario, Tabla 2.

Tabla 2

Revisión de características de relevancia

Titulo	Tecnología	Objetivo del estudio	Características de relevancia del estudio
<p>Eficiencia Energética en el abasto de agua para consumo animal en la UEB Genética Los Pinos de la Empresa Pecuaria Triángulo Tres</p>	<p>Eólica/ Fotovoltaica</p>	<p>Lograr eficiencia energética en la actividad de abasto de agua al ganado vacuno, equino, ovino y caprino de la UEB Genética Los Pinos, garantizando la demanda de agua de los animales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de variables climáticas viento > 4 m/s, temperatura, temporadas sequias del año, duración de radiación solar para la implementación de los sistemas fotovoltaicos 7 y 9 horas, • Usos de sistemas híbridos, • Red hidráulica adecuada • Abastecimiento suficiente y adecuado del recurso hídrico captado.

			<ul style="list-style-type: none"> • Suministro de almacenamiento hídrico. • Control y manejo adecuado de los sistemas. • Cantidad de paneles solares según la necesidad de demanda de bombeo de agua. • Cantidad de potencia aprovechable necesaria requerida para sistema fotovoltaico y aerogeneradores para el bombeo hídrico. • Personal capacitado para el uso de los sistemas alternativos. • Altura entre 10 m a 12 del Aero generador • Sistema convencional de ángulo variables según las condiciones de radiación solar con paneles inclinados al Sur
Propuesta de estrategia energética para abasto de agua en la ganadería	Eólica/ Fotovoltaica	Proponer una estrategia que permita lograr eficiencia energética en la actividad de abasto de agua al ganado de la UEB Genética Los Pinos, garantizando incrementar el nivel de aseguramiento de la demanda de agua de los animales.	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de uso de la alternativa según necesidad, • Aprovechamiento de los horarios donde hay fuertes magnitudes de vientos • Conocimiento de las características como son tipos de vientos y cantidad de radiación solar de la zona, según los meses del año. • Altura entre 10 m a 12 del Aero generador. • Sistema eléctrico aislado según el tipo de uso que se le dé a la energía útil, que este en óptimas condiciones y este aislado de peligros externos (cortos, agua, árboles entre otros peligros que afecten el sistema) condiciones y aislado. • Uso de inversores eficientes para minimizar perdidas de energía en la conversión de esta. • Control y mantenimiento del sistema del rotor o palas para así tener un rendimiento aerodinámico optimo.

			<ul style="list-style-type: none"> • Cuidado y remplazo de las piezas averiadas • Compatibilidad de los sistemas según el uso que se le dé a esa energía por ejemplo compatibilidad del sistema de bombeo con el sistema fotovoltaico o eólico. • Viento constante y suficiente de al menos 4 m/s para generar la energía aprovechable necesaria.
Tecnologías integradas para el abasto de agua y el riego en la ganadería vacuna en el municipio Jimaguayú	Fotovoltaico / eólico	Integrar tecnologías que contribuyan al uso eficiente del agua para el abasto y el riego en la ganadería vacuna en Jimaguayú.	<ul style="list-style-type: none"> • Altura entre 10 m a 12 del Aero generador. • Red hidráulica adecuada. • Baterías de almacenamiento energético. • Lubricación del sistema eólico en sus engranajes y partes móviles. • Monitoreo continuo de los sistemas entre 4 a 6 meses. • Ubicación estratégica de los paneles solares y del aerogenerador para minimizar la pérdida por obstáculos. • Magnitud de los vientos predominantes en las horas del día.
Agro voltaica. La simbiosis de la generación fotovoltaica y la agricultura	Fotovoltaica	Introducir en la discusión tres combinaciones agro voltaicas de desarrollo reciente, de las muchas que existen y su posible aplicación en las condiciones de Cuba.	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación adecuada de los bovinos y el sistema fotovoltaico (paneles solares), que no interfiera el sistema. • Limpieza de los paneles solares una vez al mes según exposición al polvo o contaminación. recomendación con agua desionizada o desmineralizada, • La reducción de fallas de los sistemas implica reducción de los costos en mantenimiento • Capacitación necesaria a los operarios del sistema. • Almacenamiento de la energía eléctrica por baterías de lata capacidad.

Aprovechamiento de la energía empleada en el riego por aspersión.	Fotovoltaica	Evaluación de la eficiencia energética en la actividad de riego en la UBPC Victoria II.	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo continuo de los sistemas fotovoltaicos cada 6 meses. • Ubicación de los paneles en un lugar libre de obstáculos como árboles o vegetación cercana. • Mantenimiento de piezas de corrosión monitoreo y limpieza de las aspas recurrentemente.
---	--------------	---	--

Nota. (Abad Caballero. 2017), (de la Claridad Mola Fines. I.B. 2023), (Pérez et al. 2019), (Camilo Bonet Pérez et al. 2020), (Gutiérrez Urdaneta. 2022).

A partir de la tabla 2, para tener un sistema eólico eficiente, se destacó la importancia de factores climáticos, como la velocidad del viento, la cual debe superar los 4 m/s para un aprovechamiento óptimo de la energía, también el continuo control con el fin de disminuir pérdidas causadas por velocidades bajas del viento, ráfagas, interferencia por obstáculos y falta de mantenimiento del rotor son características importantes al tener en cuenta en la implementación de un sistema eólico, además otro factor a resaltar es tener en cuenta la altura del aerogenerador, que idealmente debe estar entre 10 y 12 metros, con el fin de aprovechar esos vientos fuertes presentes en el municipio de Jimaguayú, que pueden generar mayor energía útil para el uso del sector agropecuario. Por otro lado, se resaltó la necesidad de realizar controles periódicos y un mantenimiento adecuado tanto del sistema de bombeo como del aerogenerador, con el objetivo de minimizar las fallas y garantizar su funcionamiento eficiente.

Para el sistema fotovoltaico, se destacó la importancia de ciertas características necesarias para tener en cuenta al momento de la implementación de un sistema fotovoltaico. Entre los aspectos claves se incluyen las horas de radiación solar aprovechable (5 a 6 horas diarias) en el municipio de Jimaguayú, la correcta ubicación de los paneles solares en zonas libres de sombras y protegidas de posibles fallas o daños, el ajuste adecuado del ángulo de los paneles para maximizar la captación de radiación solar debido a las variaciones de radiación que se pueden

presentar, asimismo, es fundamental determinar la cantidad de paneles necesarios en función del uso o la necesidad agropecuaria que se va a requerir, también es importante garantizar un sistema eléctrico en condiciones óptimas, realizar labores de limpieza de los paneles por suciedad o polvo que pueden estar expuestos, generar un mantenimiento de los sistemas cada 3 a 6 meses, el uso de inversor que brindan un control en el paso de energía continua a energía eléctrica, compatibilidad de los sistemas según el tipo de bomba que se usa para el abastecimiento hídrico agropecuario. Adicionalmente, es importante contar con un sistema de almacenamiento o baterías que brinde el uso de la energía eléctrica almacenada en temporadas de baja energía solar y por últimos un aspecto crítico identificado en la tabla 2 es la necesidad de personal capacitado para el monitoreo continuo y el mantenimiento regular de las tecnologías, siendo esto esencial para garantizar un funcionamiento óptimo y sostenible a largo plazo.

Finalmente, los resultados obtenidos a partir de la información recopilada determinaron que el uso de la lista de verificación y la matriz multicriterio en esta evaluación, basada en cinco antecedentes bibliográficos, son instrumentos válidos y adecuados, ya que se identificó que estas herramientas han sido ampliamente utilizadas en los estudios sobre la evaluación y optimización de sistemas fotovoltaicos y eólicos en contextos agropecuarios y agrícolas, demostrando su utilidad para identificar aspectos técnicos, operativos y ambientales que requieren mejoras para garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas.

1.1 Lista de verificación

La evaluación llevada a cabo en la finca "La Liliana" permitió analizar 25 características seleccionadas como punto de partida. Los ítems incluidos en la lista de verificación fueron elegidos tomando en cuenta los factores clave señalados en cinco estudios previos realizados por el Ministerio de Agricultura, los cuales fueron seleccionados o recomendados por el mismo

comité del Ministerio. Estos elementos fueron adaptados a las condiciones específicas de la finca, considerando tanto las características técnicas como las ambientales del lugar. De esta manera, se garantizó que el instrumento cumpliera con los criterios de pertinencia y utilidad, lo que facilitó la detección de deficiencias en los sistemas y la propuesta de estrategias de optimización basadas en la literatura científica revisada. Este análisis tuvo como objetivo adquirir un conocimiento detallado sobre el estado actual de los sistemas fotovoltaico y eólico empleados en la captación de energía, específicamente para el abastecimiento hídrico el sistema agropecuario de la finca “La Liliana”. El enfoque metodológico adoptado permitió identificar tanto las fortalezas como las áreas de mejora en los sistemas implementados, lo que resulta fundamental para diseñar intervenciones que optimicen su rendimiento. Además, se evaluaron las condiciones operativas de los equipos, las características climáticas y los posibles ajustes necesarios para maximizar la eficiencia energética, siempre considerando el contexto específico de la finca y los resultados de las experiencias previas del Ministerio.

Tabla 3

Lista de Verificación para el estudio de la finca "La Liliana"

LISTA DE VERIFICACIÓN PARA EL ESTUDIO DE LA FINCA "LA LILIANA"			
TECNOLOGÍAS APROPIADAS (FOTOVOLTAICA)	SI	NO	OBSERVACIONES
Presencia de paneles solares de alta eficiencia			Cumplen con el objetivo de suministrar energía eléctrica para el bombeo de agua a la finca "La Liliana", sin embargo, se evidenció falta de control y de limpieza de estos.
Angulo de los paneles			Sistema convencional de ángulo fijo con paneles inclinados al Sur, no se prevé si hay dificultades en la radiación solar
Uso de sistemas híbridos			No se cuenta con los sistemas híbridos, sólo con los sistemas FRE separados fotovoltaico y eólico.

Implementación adecuada del sistema eléctrico			Se identifica que el circuito del sistema eléctrico implementado para la producción de energía necesaria para el bombeo de agua al sector ganadero no es adecuado, puesto que se encuentran expuestos a factores externos que pueden impedir o afectar su funcionamiento, por lo que la falta de control y mantenimiento podría conllevar a un corto en el sistema eléctrico.
La bomba de captación de agua cumple su función principal de abastecimiento hídrico al sector agropecuario			La bomba cumple con el uso principal del proceso, sin embargo, no se cuenta con suficiente información de esta, sólo se conoce por información dada por el jefe de la finca que es una bomba vertical y de referencia SQF3A-10; por lo que no se cuenta con un control y/o mantenimiento de esta. A su vez, se debe tener en cuenta que no se evidenció una vía de fácil acceso a la misma, por lo que es difícil poder identificar su estado.
La bomba es compatible con los paneles solares utilizados			Teniendo en cuenta que el proceso de uso de energía solar transformada en eléctrica para el bombeo de agua es adecuado, se considera que el proceso cumple con su función principal. Pero el sistema eléctrico que alimenta la bomba no es el adecuado y no se tiene en cuenta las fallas que podrían presentar
Sistema de almacenamiento de energía adecuado			No se cuenta con sistema de almacenamiento energético (baterías)
Se considera que la cantidad de paneles es la indicada para tener una cantidad real de energía aprovechable			La finca La Liliana cuenta con un módulo captación de energía fotovoltaica de 14 paneles los cuales están 11 están inactivos y 3 paneles solares sirven para uso de energía eléctrica, se puede estimar que la cantidad de paneles en uso sirven para generar energía aprovechable para el bombeo hídrico del hacia sector agropecuario
El área disponible para la implementación de todo el sistema de FRE (fotovoltaico) es el apropiado			El área de ubicación de los paneles esta propensa a sufrir daños por los bovinos. Asimismo, en el radio cercano a los paneles se evidencia maleza y abundante cantidad de árboles que, si no se les brinda el correcto mantenimiento podrían afectar la eficiencia de uso de la radiación solar. al reducir la presencia de esta sobre la cubierta de los paneles.
Horas de funcionamiento			Esta fuente de energía tiene un uso continuo, pero solo 5 horas de son usadas para el bombeo del recurso hídrico, es decir que la energía captada después de esas horas se pierde.
TECNOLOGÍAS APROPIADAS (EÓLICA)	SI	NO	OBSERVACIONES
Consideraciones de los vientos de la zona			El uso del aerogenerador tipo Huracán de 9 m de altura implica el no aprovechamiento de los vientos fuertes en horas determinadas.

Altura esencial para el aprovechamiento del viento			Este sistema es del tipo de aerogenerador Huracán con una altura de 9, que implica el no aprovechamiento de los vientos fuertes
El área disponible para la implementación de todo el sistema de FRE es el apropiado			El terreno se ve afectado por maleza y por la presencia de árboles cercanos al molino, lo que se considera como un factor negativo para el aprovechamiento de los vientos, conllevando a un impedimento en el paso del viento hacia el molino. A su vez, se considera que el acceso al molino es difícil por lo que su mantenimiento y revisión no es frecuente.
Turbinas de eje vertical			Solo se cuenta con información de radio de las aspas de 1.215 m y además se contempla ruidos de desgaste y ningún control o mantenimiento desde su instalación
El sistema cuenta con resistencia a las variabilidades climáticas relevantes de la zona			La estructura se ve poco eficiente para enfrentar una eventualidad climática compleja, la falta de mantenimiento y control podría implicar un fallo del proceso. Se considera que, al no contar con otro molino no se tiene una alternativa previa para su reemplazo por lo que se podría perder el proceso de FRE con el que se cuenta.
Cuenta con baterías de almacenamiento adecuadas			Esta fuente de energía no cuenta con un método de almacenamiento puesto que sólo realiza el proceso de bombeo por una forma de energía mecánica.
CONTROL Y PROCEDIMIENTO	SI	NO	OBSERVACIONES
Se cuenta con un control periódico del procedimiento de las FRE			Según información dado por el jefe de la finca no se cuenta con un control periódico y ni un solo mantenimiento desde la instalación de los dos sistemas.
Cuentan con información de la eficiencia de los sistemas alternativos renovables implementados			No se contempla información para comparar según su estado actual.
El abastecimiento hídrico			La captación va en base a la demanda que necesite la finca sin tener en cuenta que si se presenta una escasez del pozo de captación no cuentan con otra alternativa para el abastecimiento.
La distribución hídrica al sector agropecuario es optima			Se pueden llenar los bebederos de los animales, pero se evidencio en un desgaste del recurso alrededor del 50 %.

Cumplimiento del cambio de energías fósiles por el uso de FRE		En el proceso sostenible de la finca La Liliana, el objetivo se ha estado cumpliendo ya que en sus procesos productivos han minimizado el uso combustible por la implementación de procesos sostenibles que brindan factores positivos para el planeta.
La comunidad de la finca ha participado y tiene conocimiento sobre las alternativas renovables		Se identificó que entre los trabajadores se ha fortalecido el conocimiento de las ventajas del uso de nuevas fuentes alternativas de energía. Por otro lado, la finca le está apostando a involucrar programas de ecoturismo, con la finalidad de dar a conocer todo el proceso ganadero y productor que se ejecuta en la finca, con ayuda de las FRE solar y eólica.
Se identifica la disminución en costos energéticos en los procesos productivos		No se cuenta con un valor exacto, pero si cuentan con una reducción en costos energéticos en sus procesos, en efecto, esto ha proporcionado un resultado positivo a la finca "La Liliana" en términos de reducción de gastos.
Se consideran los impactos negativos por el uso FRE en la finca de estudio		No se tienen presentes, puesto que se identificó que el sistema de energía fotovoltaica cuenta con un alto riesgo ante la presencia de accidentes con los bovinos u operativos. En cuanto al sistema de energía eólica, si bien genera beneficios; su altura puede influir en las vías de vuelo de las aves, por lo que se pueden presentar de igual forma accidentes e incluso pérdida de animales.
Se hace uso correcto de la energía aprovechable de los sistemas fotovoltaico y eólico		No se brinda un uso positivo en las FRE utilizadas, debido a que se encontraron factores técnico operativos que se podrían mejorar; por lo tanto, se es necesario estrategias administrativas y de gestión para el uso eficiente de la energía para el sector agropecuario de la finca La Liliana.

Nota. Autoría propia

Tras la visita a la finca "La Liliana", se determinó que, de las 25 características evaluadas, 15 están implementadas, pero se encuentran en condiciones desfavorables o presentan factores no considerados que podrían afectar el proceso de captación de energía para el abastecimiento del recurso hídrico en la finca. Por otro lado, las 10 características restantes no cumplen con los estándares de implementación o uso adecuado, lo que evidencia puntos críticos en los sistemas evaluados. Para más detalles, véase la Tabla 3.

Entre los aspectos más importantes que se encontraron con falencias en el sistema fotovoltaico, se destacan la falta de control, la limpieza inadecuada de los paneles, la falta de consideración del ángulo óptimo para una mayor captación solar, la escasa información técnico-

operativa de la bomba SQF3A-10, y el bajo aprovechamiento de la energía debido a la cantidad de paneles instalados, debido a factores como los tiempos de mínima radiación solar, la nubosidad que puede presentarse, la ubicación del sistema y la falta de almacenamiento de la energía captada. En el sistema del aerogenerador, se evidencia el bajo aprovechamiento de los vientos que podrían generar mayor energía aprovechable para el bombeo, el mal estado de las turbinas, la deficiente red de distribución para el bombeo del recurso hídrico, la ubicación incorrecta del aerogenerador debido a la presencia de vegetación demasiado cercana, así como la falta de conocimiento y capacitación de los trabajadores para el mantenimiento y control de los sistemas, y la escasez de información sobre las características operativas de los sistemas energéticos alternativos utilizados.

Además, las 25 características presentaron observaciones, lo que resalta oportunidades para mejorar la eficiencia, seguridad y sostenibilidad del proyecto. Entre los aspectos más preocupantes está el desperdicio de agua debido a la falta de sistemas de almacenamiento adecuados, así como la ausencia de líneas secundarias para la distribución del recurso hídrico.

El análisis refleja una serie de falencias técnicas y operativas que brindan la necesidad urgente de mejorar tanto en la operación como el mantenimiento de los sistemas actuales, representando puntos críticos que afectan directamente la eficiencia de los sistemas renovables hacia la sostenibilidad del sistema de abastecimiento hídrico, donde si se abordan adecuadamente, pueden sumar en la eficiencia del sistema renovable que directamente sumaran positivamente al abastecimiento hídrico de la finca "La Liliana" en un modelo más eficiente, sostenible y funcional. Estas mejoras no solo contribuirán al aprovechamiento óptimo de los recursos energéticos alternativos, sino también a la sostenibilidad de las actividades agropecuarias en la finca.

Para apoyar la lista de chequeo, se evaluó la matriz multicriterio con el fin de definir el nivel actual que se encuentra los dos sistemas alternativos implementados en la finca para el abastecimiento hídrico agropecuario.

1.2 Matriz multicriterio

Tabla 4

Matriz Multicriterio sobre el estudio de la finca "La Liliana"

Matriz multicriterio																		
Criterio	Característica evaluada	Aspecto técnico						Aspecto ambiental				Aspecto social				Total	Situación actual	
		Instalación	Costos de inversión inicial	Correcta ejecución	Demanda hídrica diaria	Distribución hídrica	Control periódico	Vida útil del sistema	Influencia ecosistémica	Perturbación a la fauna nativa y migratoria	Ruido	Pérdida del recurso hídrico	Oferta laboral	Capacitación de trabajadores en alguna eventualidad	Beneficio comunitario			Afectaciones laborales y/o de salud
Sistema fotovoltaico	Horas de mayor aprovechamiento de exposición a la radiación solar	0	0	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	Moderado
	Manejo del sistema eléctrico	3	3	3	0	0	3	3	2	0	0	0	0	3	0	3	23	Alto
	Ubicación de los paneles solares	3	3	1	0	0	3	2	2	0	0	1	0	3	0	0	18	Moderado
	Bomba de captación de agua	2	1	3	3	3	3	1	0	0	2	2	2	3	0	0	25	Alto
	Sistema de almacenamiento de energía	2	1	2	0	0	3	2	2	0	0	0	2	3	3	2	22	Alto
	Prevención ante variaciones climáticas	3	0	3	3	3	3	0	2	2	0	3	0	0	0	0	22	Alto
	Probabilidad de accidentes o fallas	3	3	0	3	3	3	3	3	2	0	0	0	2	0	2	27	Alto
	Cantidad de paneles solares (demanda de la finca)	3	0	3	3	0	2	0	0	0	0	3	1	0	0	2	17	Moderado
	Infraestructura apropiada	2	2	0	0	2	2	1	0	2	1	2	0	1	0	0	15	Moderado

Matriz multicriterio																		
Criterio	Característica evaluada	Aspecto técnico						Aspecto ambiental				Aspecto social				Total	Situación actual	
		Instalación	Costos de inversión inicial	Correcta ejecución	Demanda hídrica diaria	Distribución hídrica	Control periódico	Vida útil del sistema	Influencia ecosistémica	Perturbación a la fauna nativa y migratoria	Ruido	Pérdida del recurso hídrico	Oferta laboral	Capacitación de trabajadores en alguna eventualidad	Beneficio comunitario			Afectaciones laborales y/o de salud
Sistema hidráulico	Aislamiento adecuado de almacenamiento de energía	3	3	1	0	0	2	0	0	0	2	0	3	3	0	3	20	Moderado
	Operado por personal no calificado	3	3	3	2	0	3	3	0	0	0	3	3	0	0	0	23	Alto
	Compatibilidad de equipos	2	1	2	3	2	3	0	2	0	0	3	2	3	0	0	23	Alto
	Mantenimiento requerido	3	2	3	2	3	3	2	0	0	0	3	3	3	0	0	27	Alto
	Revisión paulatina de la bomba Modelo SQFlex	3	2	2	2	3	3	3	0	0	0	3	3	3	0	0	27	Alto
	Revisión y mantenimiento de las celdas	3	2	2	2	1	1	3	0	0	0	2	3	3	0	0	22	Alto
	Mantenimiento del sector	2	3	3	0	0	3	3	1	0	0	1	3	0	0	0	19	Moderado
Sistema eólico	Exposición a las horas con mayor viento	3	0	1	3	3	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	14	Moderado
	Comportamiento de la velocidad del viento	2	0	3	3	3	3	0	1	0	0	2	0	0	0	0	17	Moderado
	Altura de instalación	2	0	1	3	3	0	0	3	2	0	3	0	0	0	0	17	Moderado
	Tiempo de funcionamiento	3	0	2	3	1	3	2	0	0	2	3	0	0	0	0	19	Moderado
	Ubicación del aerogenerador	3	0	2	3	3	0	0	3	3	0	3	0	0	0	0	20	Moderado
	Mantenimiento requerido	2	0	3	3	0	3	3	0	0	0	3	2	2	0	0	21	Moderado
	Ruido procedente del aerogenerador	2	0	0	3	0	0	0	3	2	3	0	0	0	0	0	13	Moderado
	Prevención ante variaciones climáticas	3	0	3	3	3	2	3	0	0	0	3	0	0	0	2	22	Alto
	Compatibilidad de equipos	2	0	2	1	1	2	1	0	0	0	2	0	0	0	0	11	Moderado
	Revisión del estado de las aspas	3	0	3	3	2	3	3	0	0	0	2	2	2	0	0	23	Alto
	Revisión paulatina de la bomba de pistón	3	0	3	3	2	3	3	0	0	0	3	2	2	0	0	24	Alto
	Probabilidad de accidentes o fallas	3	3	3	3	3	3	3	0	2	0	2	1	0	0	3	29	Alto
	Mantenimiento del sector	3	0	3	3	3	3	2	0	0	0	0	3	2	0	0	22	Alto
Total	Clasificación de las características evaluadas según su nivel de importancia en la finca la Liliana													54%	% de importancia a evaluar			

Nota. Autoría propia

El uso de la matriz multicriterio escogida en base a la literatura previa y aconsejada por el comité del Ministerio de Agricultura de Camagüey, se justificó debido a su capacidad para integrar y evaluar diferentes aspectos técnicos, ambientales y sociales de manera simultánea, que permite una visión más amplia y equilibrada, lo que es importante cuando se consideran múltiples dimensiones en la toma de decisiones, especialmente en este proyecto que involucra energía renovable, eficiencia y sostenibilidad, (Toscana et al., 2013).

Esta herramienta multicriterio permite enfatizar aspectos según su relevancia e importancia en el contexto específico de la finca "La Liliana", donde se priorizan factores como la eficiencia energética, el control del sistema, las fallas que se pueden presentar, la sostenibilidad del sistema, el mantenimiento, la fauna que puede implicar fallas en el sistema, el impacto social y educativo de los sistemas renovables alternativos utilizados en la finca. La razón detrás de la elección de este enfoque es que la lista de verificación según sus resultados, proporcione mayor cantidad de información cualitativa para comparar y valorar en su estado actual, al mismo tiempo, la matriz multicriterio permitió una toma de decisiones más razonable, que va más allá de los factores puramente económicos, debido a que no se considera un aspecto costo-beneficio debido a la falta de datos precisos sobre los costos iniciales de los sistemas, donde esto dificulta la estimación de la inversión requerida, ya que la adquisición de estos equipos fueron brindados por un proceso de donación del Ministerio de Energía y Minas, la justificación de los valores o precios no es contemplada como información pública. Además, el acceso limitado a repuestos y la escasez de mano de obra calificada complican el mantenimiento de los sistemas, debido a que no se le ha realizado un mantenimiento esto generara hasta un riesgo de inoperatividad.

En general, las puntuaciones obtenidas reflejan un estado crítico y alto, ya que el 54 % de las características evaluadas en la matriz multicriterio no se encuentran en óptimas condiciones. Estas puntuaciones están directamente relacionadas con la ponderación de los criterios, la cual se estableció con base en consultas con expertos del equipo de trabajo del Ministerio de Agricultura y en las observaciones realizadas durante la visita a la finca “La Liliana”. Cabe destacar que, según Toscana et al. (2013), los valores asignados en este tipo de evaluaciones no pueden considerarse como datos rígidos derivados de una fuente específica, sino como una interpretación fundamentada en la evaluación in situ. Este enfoque permite reflejar con mayor precisión las condiciones reales del sistema y facilita la toma de decisiones adaptadas a las necesidades del contexto, reflejando las prioridades técnicas y ambientales del proyecto. (Tabla 5).

Por lo anterior, la evaluación de los sistemas renovables involucrados en el proceso de abastecimiento hídrico de la finca se destacó por la importancia de la intervención urgente para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de todo el sistema de aprovechamiento de energía; donde en el aspecto técnico, los sistemas eólicos y fotovoltaicos presentan varias deficiencias, principalmente en términos de mantenimiento requerido, probabilidad de accidentes o fallas y revisión de los equipos. Estos aspectos mencionados anteriormente han recibido altas puntuaciones, lo que indica que existen fallas significativas en la ejecución y el seguimiento de los sistemas, lo cual puede resultar en riesgos operacionales y afectaciones graves en su funcionamiento a largo plazo.

Sumado a lo anterior, se evidenció el desconocimiento de información de los equipos por medio de los trabajadores de la finca, también la matriz destaca la importancia de la capacitación de los trabajadores que podrían comprometer en la eficiencia y el aprovechamiento de los

recursos renovables, además de la presencia de la perturbación de la fauna nativa y migratoria esto puede implicar en los daños de los sistemas alternativos implementados en la finca.

Por último, se logró caracterizar la situación actual de la finca "La Liliana", concluyendo que los sistemas energéticos implementados para el suministro hídrico agropecuario no están en óptimas condiciones técnico operativas que implicando una eficiencia reducida y baja sostenibilidad de dichos sistemas.

Tabla 5

Nivel actual en el cual se encuentran los sistemas de la Finca "La Liliana"

NIVEL ACTUAL	CRÍTICO	33 – 48
	ALTO	22 – 32
	MODERADO	11 – 21
	BAJO	0 – 10

Nota. Autoría propia

2. Características actuales de los sistemas alternativos renovables de la finca “la Liliana”

A partir de la evaluación de la finca "La Liliana", se recopilaron y analizaron datos que sirvieron como base para determinar la eficiencia del sistema alternativo eólico y fotovoltaico en la comparación de la energía aprovechable y realmente aprovechada para el abastecimiento hídrico agropecuario en las condiciones actuales de la zona de estudio. Este análisis permitió identificar tanto el estado de funcionamiento del sistema, el aprovechamiento de energía, como las características técnico-operativas de los sistemas fotovoltaico y eólico y de los equipos de bombeo utilizados. Es importante señalar que los trabajadores carecían de información técnica completa sobre los dos sistemas de bombeo y de los sistemas renovables. Por esta razón, se organizó y consolidó la información disponible, la cual se presenta de manera estructurada en las Tablas 6 y 7.

Tabla 6

Características técnicas-operativa actuales de los sistemas eólico de la Finca "La Liliana y bomba implementada para el bombeo de agua para el sector agropecuario

Características del Aerogenerador		
Tipo de aerogenerador	Huracán	
Radio de aspas	1.215	m
Altura del aerogenerador	9	m
Densidad del aire	1.2	Kg/m ³
Características de la bomba		
Bomba	Tipo pistón	vertical
Tiempo de uso de bombeo	6	Horas diarias
Mañana	10: 00 am a 1 pm	
Tarde	4:00 pm a 7 pm	

Nota. Autoría propia

Tabla 7

Características técnico operativas actuales de los sistemas fotovoltaico de la Finca "La Liliana y de la bomba para abastecimiento del sector agropecuario.

Características del sistema fotovoltaico		
Eficiencia del panel	0.179	%
# Paneles	3	DSM-250.
Ancho	6	M
Largo	3	M
Área	18	m ²
Inclinación de los paneles	15	°
Tiempo de radiación aprovechable	5	Horas
Características de la bomba		
Tipo de bomba	Modelo SQFlex	SQF-3A-10
Eficiencia mínima de la bomba	70	%
Tiempo de uso de bombeo	5	Horas
Potencia de la bomba	0.63	kW
Caudal nominal	3	m ³ /h
Temperatura del liquido	0-40	°C
Material	Aero inoxidable	

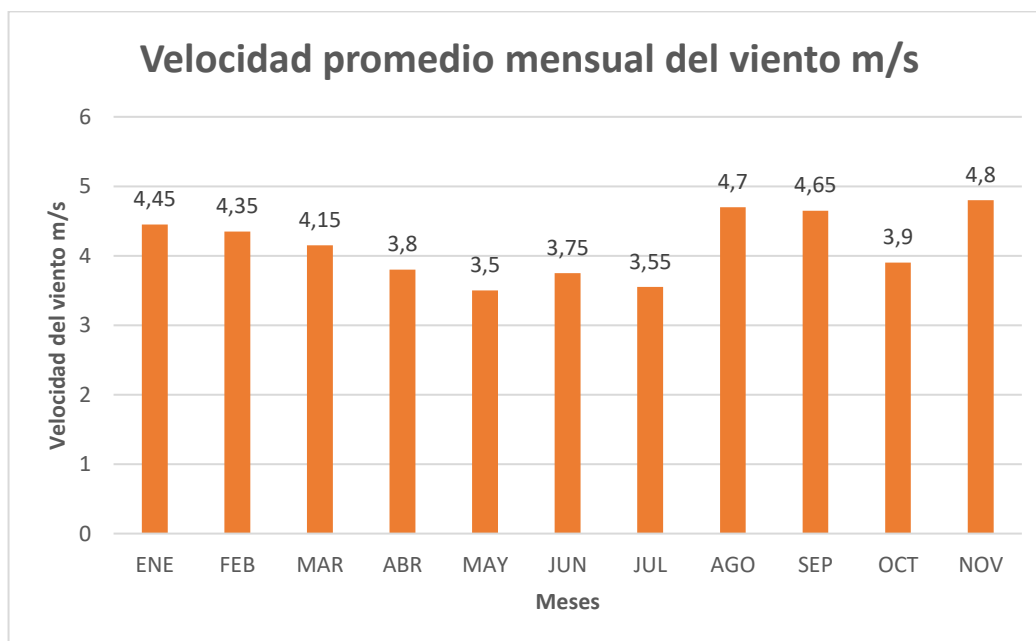
Nota. Autoría propia

2.1 Eficiencia del sistema alternativo Eólico

Con base en la visita a la finca “La Liliana,” ubicada en el municipio de Jimaguayú, y en la recopilación de datos de media mensual de velocidad del viento en (m/s) por hora, proporcionados por el Instituto de Meteorología de Camagüey (INSMET, 2024), anexo 1, que es la única entidad autorizada y responsable de la recopilación y gestión de los datos climatológicos en la ciudad de Jimaguayú; el análisis se llevó a cabo, para el período de estudio comprendido entre enero y noviembre en la zona de Jimaguayú. Dichos datos permitieron determinar la velocidad promedio del viento para cada mes, considerando específicamente los horarios de operación del sistema eólico: de 10:00 a.m. a 1:00 p.m. y de 4:00 p.m. a 7:00 p.m. Los resultados obtenidos se presentan en anexos, en la hoja de cálculo 1 y se ilustran en la figura 2.

Figura 2

Velocidad del viento para las horas de uso del aerogenerador 10: 00 am a 1: pm. y de 4:00 pm a 7:00 pm



Nota. Autoría propia

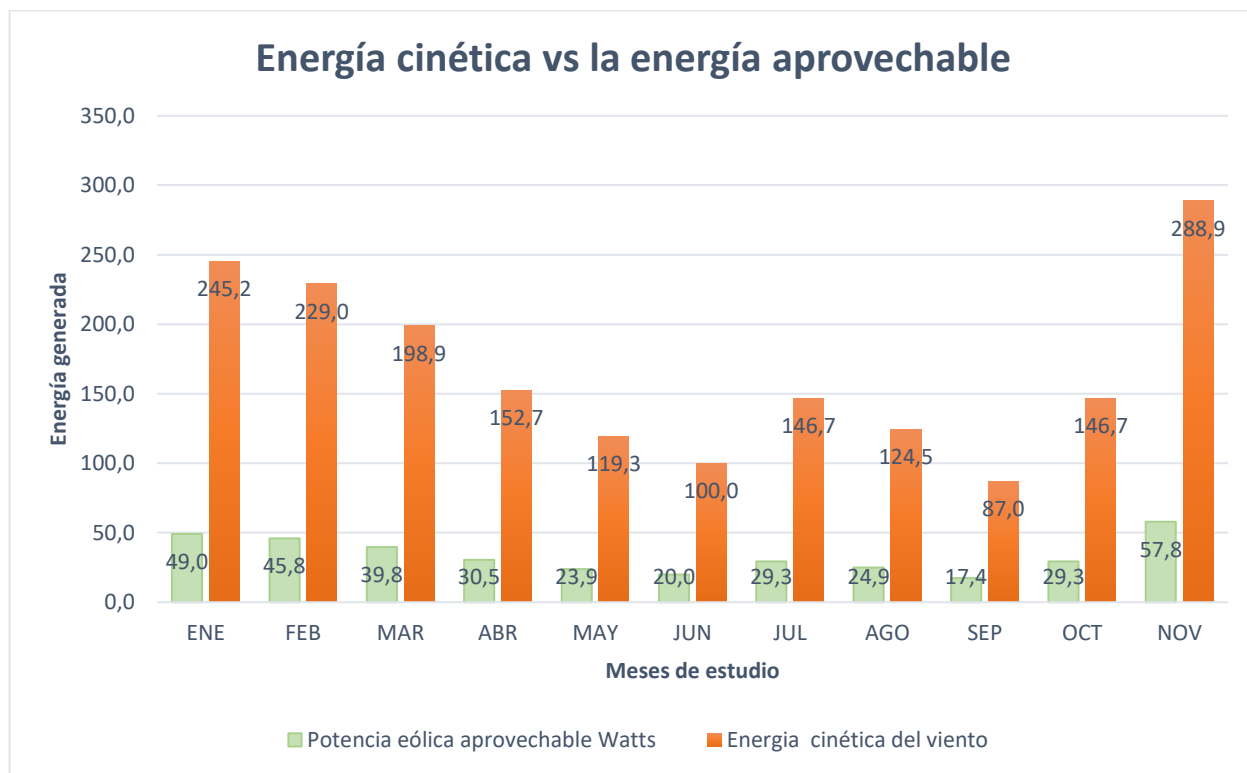
Se observa que los meses de agosto a noviembre presentan las mayores velocidades, con valores superiores a 4.65 m/s y de enero a marzo valores superiores a 4.1 m/s, lo que los convierte en los periodos más favorables para la generación de energía eólica. En contraste, de abril a julio las velocidades disminuyen, alcanzando su punto más bajo, lo que podría reducir el rendimiento del sistema eólico. Para comprobar estos resultados, según los datos de velocidades promedio mensuales, se calculó de la energía cinética del sistema eólico, y está permitió determinar la cantidad de energía disponible en el flujo de viento que interactúa con las palas del aerogenerador.

Teniendo en cuenta el dato previamente calculado de la velocidad promedio mensual del viento y las características actuales del sistema, como el radio del rotor del aerogenerador, que es de 1.215 m, se calculó el área del rotor, obteniendo un valor de 5 m² mediante la ecuación (1). Este cálculo corresponde al sistema utilizado en la zona de estudio, específicamente en la finca “La Liliana.” Además, se consideró un valor de densidad del aire de 1.2 kg/m³, el cual es un dato estándar ampliamente empleado en estudios y modelos de recursos eólicos, ya que ofrece una referencia confiable para estimar la energía cinética del viento en condiciones normales. Con estos parámetros, se determinó la energía cinética del sistema utilizando la ecuación (3). Los resultados de estos cálculos se encuentran registrados en los anexos, específicamente en la hoja de cálculo 2.

Con el valor previamente calculado, se generó el cálculo de la energía aprovechable, que representa la cantidad de energía útil que un sistema puede convertir en energía mecánica y utilizar efectivamente para cumplir una función específica, en este caso, el bombeo de agua para el abastecimiento, ecuación (2), (Morejón et al., 2011). Revísese en los anexos, hoja de cálculo 3.

Figura 3

Energía cinética vs la energía aprovechable del sistema alternativo eólico



Nota. Autoría propia

En relación con los resultados presentados en la Figura 3, se observa que la energía cinética disponible en el viento supera significativamente la energía aprovechable durante todos los meses analizados. Esto indica que la cantidad de energía proporcionada por la velocidad del viento hacia el aerogenerador es considerablemente mayor que la energía convertida en energía útil para el abastecimiento hídrico del sector agropecuario. Esta discrepancia se debe a las condiciones críticas en las que se encuentra el aerogenerador, las cuales han sido identificadas como aspectos a mejorar en la lista de verificación.

Las pérdidas por fricción, el desgaste de las piezas, la falta de lubricación, la presencia de vegetación que obstaculiza el paso del viento, el deterioro general del sistema y la falta de mantenimiento han sido factores clave en el bajo rendimiento del aerogenerador. Según (Rodríguez Otalora, 2022) en condiciones óptimas, el aerogenerador tipo rotor múltiple americano de baja velocidad, utilizado para el bombeo de agua, podría alcanzar un coeficiente de potencia $CP=0.30$, lo que indica que solo el 30% de la energía cinética del viento se convierte en energía mecánica útil. Sin embargo, debido a las condiciones subóptimas del sistema, se ha seleccionado un coeficiente de potencia ($Cp.$) de 0.20. Este valor se fundamenta en el trabajo de “Caracterización de un rotor multipala americano con 12 aspas para Aero-bombeo” del señor Rodríguez Otalora, quien explica que el coeficiente de potencia varía en función del estado actual del rotor del aerogenerador. Esta selección refleja la significativa reducción en la eficiencia del sistema, así como la discrepancia entre la energía disponible y la realmente aprovechada. Además, el valor asignado se sustenta en las evaluaciones realizadas mediante la lista de verificación y la matriz multicriterio, evidenciadas durante la visita a la finca "La Liliana".

Este rendimiento disminuido se ve aún más afectado por la falta de conocimiento por parte de los trabajadores de la finca la Liliana tanto en el mantenimiento, el control y en información importantes del sistema, además, las pérdidas aerodinámicas por fricción y turbulencia en las palas, el desgaste mecánico de los componentes del sistema (como ejes y rodamientos), y las pérdidas eléctricas en el generador y la transmisión reducen aún más la eficiencia. Factores externos, como las condiciones de viento subóptimas, la presencia de obstáculos que afectan el flujo del aire, y el mal estado del sistema por falta de mantenimiento,

también contribuyen a que solo una fracción de la energía del viento se convierta en energía útil, dejando el resto como energía disipativa. (Figura 4).

Por otro lado, se puede abonar que los meses con vientos más intensos, como lo es de abril a enero y de octubre a noviembre, ofrecen información concluyente para identificar los períodos más favorables para el aprovechamiento de energía eólica en la finca. Esta particularidad entre las potencias permite optimizar el uso de la energía disponible y mejorar la planificación de la generación eólica durante los meses de mayor potencial.

Figura 4

Aerogenerador encontrado en la Finca la Liliانا con obstrucciones de la vegetación



Nota. Autoría propia

Para la eficiencia del sistema eólico, según lo analizado previamente, se determinó la relación entre la potencia eólica aprovechable y la energía cinética, como se muestra en el Anexo (Hoja de Cálculo 4). Al considerar un coeficiente de potencia constante $CP=0.20$, se determinó que el aerogenerador convierte el 20% de la potencia cinética del viento en energía mecánica aprovechable, mientras que el 80% de la energía se disipa en pérdidas aerodinámicas del

aerogenerador. Dado que este coeficiente se mantuvo constante a lo largo de los 11 meses de estudio y no se observaron cambios significativos en el aerogenerador ni en su entorno con respecto a su posible mejora, la eficiencia del sistema no experimentó variaciones durante este período.

Esto es consistente con las observaciones realizadas en campo, debido a que este valor de eficiencia está influenciado por factores como el mal estado del aerogenerador, la baja calidad del mantenimiento, las condiciones subóptimas de viento, entre otras ya mencionadas. Un valor del 20% sugiere que hay margen para mejorar el rendimiento del aerogenerador, mediante ajustes en el diseño, mantenimiento o las condiciones operativas, siempre y cuando no se sobrepase la máxima potencia de energía aprovechable que se puede obtener para un aerogenerador la cual es 59.3%, según el coeficiente de Betz, debido a que siempre se presentaron pérdidas de energía en el aerogenerador por factores del mismo o externos. (Soto Osorno et al., 2019)

Tabla 10

Eficiencia del sistema eólico en condiciones actuales

Aerogenerador condiciones actuales											
Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Eficiencia del sistema %	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
% de pérdida del sistema	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%

Nota. Autoría propia

2.2 Eficiencia del sistema Fotovoltaico

Para determinar la eficiencia del sistema fotovoltaico, primordialmente se identificó la situación actual de todo el sistema, corroborando que en condiciones técnico-operativas el sistema fotovoltaico presenta varias observaciones de mejora para optimizar y de

aprovechamiento de la energía eléctrica para el bombeo del recurso hídrico en las actividades agropecuarias.

El cálculo de la energía incidente se realizó utilizando los valores medios horarios de la radiación solar global de Jimaguayú, proporcionados por el Centro Meteorológico Provincial de Camagüey ver en anexo 2, siendo la fuente oficial y autorizada para proveer esta información en el municipio de Jimaguayú. Para el desarrollo de la energía incidente se utilizó la ecuación (5), donde se consideraron parámetros claves, como el área total de los tres paneles solares instalados en la finca "La Liliana", que suman 18 m² y según las especificaciones del fabricante o ficha técnica de los paneles DSM-250 utilizados anexo 3, se adoptó una eficiencia del 17.9%, el valor más bajo reportado, debido a pérdidas provocadas por factores como la ubicación de los paneles, que se encuentran cerca de áreas de trabajo y vegetación, llegando a generar sombras durante los periodos de mayor radiación solar; esta interferencia reduce significativamente el rendimiento de los paneles, ya que las sombras interfieren con la captación óptima de energía solar (Colquehuanca. 2021) además, la falta de un diseño adecuado para maximizar la exposición solar y el ángulo inadecuado de 15° de los paneles en relación con el sol podría ser un factor limitante para lograr un rendimiento óptimo de los sistemas implementados, ya que según (BESNIER. 2019) el ajuste de la inclinación a los paneles mayor a 15° podría ser, además, una solución para aminorar los daños del sistema en eventualidades climáticas.

Otro factor crítico que afectó el rendimiento del sistema fotovoltaico es la falta de limpieza regular. Los paneles solares requieren un mantenimiento periódico para eliminar el polvo, la suciedad, las hojas y otros residuos que se acumulan en su superficie. En la finca "La Liliana", la ausencia de estas tareas de limpieza ha reducido significativamente la capacidad de los paneles para captar luz solar de manera eficiente (Figura 5), estos aspectos fueron

identificados como factores críticos que afectan de manera significativa la energía solar que incide en el sistema.

Figura 5

Panel solar con suciedad encontrado en la Finca la Liliana



Nota. Autoría propia

Tabla 11

Energía solar incidente y potencia promedio diario del panel solar

Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Energía solar incidente kWh actual	9.080	11.064	13.039	14.518	12.981	14.435	15.095	14.438	12.820	10.356	9.031
Potencia promedio diaria del panel solar kWh/día	0.38	0.46	0.54	0.60	0.54	0.60	0.63	0.60	0.53	0.43	0.38

Nota. Autoría propia

Según la Tabla 11, Los resultados presentados reflejan una clara estacionalidad en el comportamiento del sistema fotovoltaico, directamente influenciado por la radiación solar disponible. La energía solar incidente alcanza sus valores máximos durante los meses de abril a agosto, con un pico en junio (15.095 kWh), lo que coincide con el aumento de la radiación solar a las celdas solares de silicio, cuando sucede esto los fotones (partículas de luz) transfieren su

energía a los electrones del silicio y estos a su vez generaran una energía continua, asimismo condiciones meteorológicas más favorables implican ese comportamiento de estacionalidad, véase los cálculos en anexos, hoja de cálculo 5, este comportamiento sugiere que el sistema fotovoltaico tiene un rendimiento altamente dependiente de las condiciones climáticas y, en particular, de la radiación solar disponible. Sin embargo, factores externos al recurso solar, como las pérdidas derivadas de la suciedad en los paneles, la presencia de sombras y la falta de limpieza, limitan aún más el rendimiento. Estas pérdidas, sumadas a posibles ineficiencias internas del sistema, como el envejecimiento de los componentes o la falta de mantenimiento adecuado, pueden estar afectando negativamente la eficiencia global del sistema.

Durante estos meses, la potencia promedio diaria, calculada dividiendo la energía incidente mensual entre las 24 horas diarias que está expuesto el sistema fotovoltaico, siguió esta misma tendencia, donde el sistema fotovoltaico produce energía con valores máximos de abril a agosto, mínimos de 0.38 a 0.54 kWh/día en enero a marzo y septiembre a noviembre 0.53 a 0.36 kWh/día, véase los cálculos en anexos, hoja de cálculo 6, siendo esto referente a que en los días del mes de abril a agosto la potencia brindada por el panel es mayor.

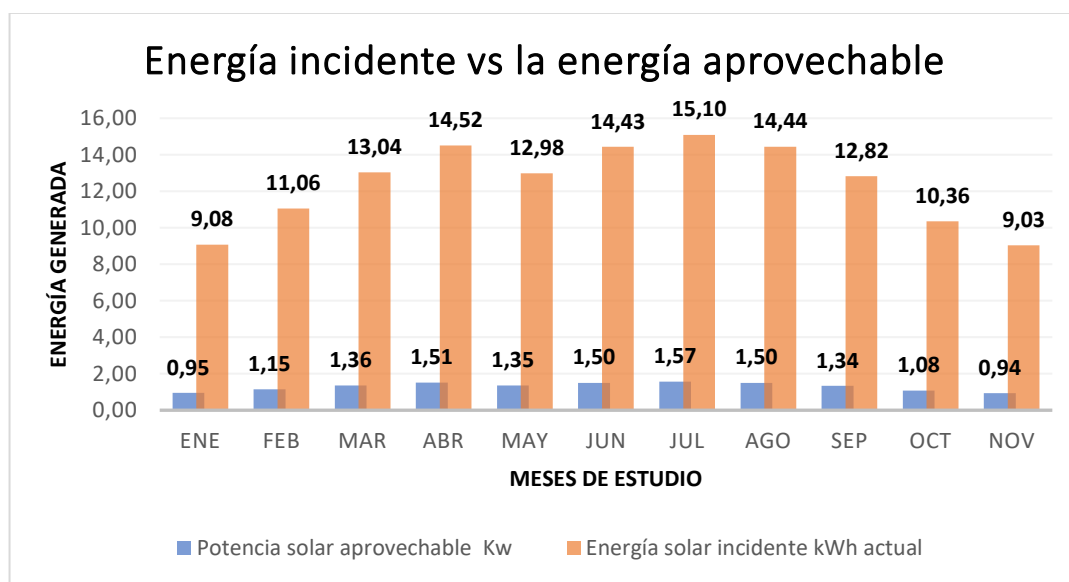
Conforme a los datos mencionados, la potencia promedio diaria sirvió como base para calcular la energía aprovechable del sistema fotovoltaico de la finca La Liliana, ecuación (7), es decir, la cantidad de energía eléctrica que este sistema puede producir bajo las condiciones actuales, véase los cálculos en anexos, hoja de cálculo 7. Esta energía aprovechable tuvo en cuenta las pérdidas presentes en el sistema, las cuales están determinadas por factores externos y por el estado actual de la instalación. Según las observaciones realizadas y los aspectos identificados en la lista de verificación, se estimó que los niveles de pérdida podrían alcanzar valores significativos.

En particular, la variación climática se determinó como un factor que contribuye con un 20% de las pérdidas, mientras que la inclinación incorrecta del sistema representó un 5%. Además, debido a la presencia de sombras de vegetación circundante se estimaron pérdidas adicionales del 22%, y las condiciones del sistema eléctrico fueron responsables de un 15% de las pérdidas, siguiendo los criterios expuestos en el estudio "Análisis de eficiencia y degradación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica." (González et al., s.f.)

Por otro lado, se determinó que solo 5 horas del tiempo de radiación solar diario son aprovechables. Esto se basó en los datos de valores medios horarios de la radiación solar global en Jimaguayú, proporcionados por el Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, que indican que entre las 11:00 a.m. y las 13:00 p.m. se registra la mayor intensidad de radiación solar durante cada mes del año. Esta limitación de tiempo es un factor clave que influye en la capacidad del sistema para generar energía de manera eficiente.

Figura 6

Energía incidente vs la energía aprovechable del sistema alternativo fotovoltaico



Nota. Autoría propia

El cálculo de la energía aprovechable permite estimar de forma precisa la cantidad de energía que puede generar el sistema fotovoltaico y dirigirla en forma de corriente continua directamente a la bomba de abastecimiento hídrico destinada al sector agropecuario. Dado que no se dispone de baterías de almacenamiento, toda la energía generada se utiliza de forma inmediata para cubrir las necesidades operativas, el análisis también subraya la necesidad de optimizar el diseño y las condiciones del entorno del sistema fotovoltaico como resultado de lo anterior, la energía aprovechable del sistema fotovoltaico, figura 6, evidencia una notable diferencia entre la energía solar incidente y la energía aprovechable, destacando pérdidas significativas en el sistema fotovoltaico. Aunque los meses de mayor radiación solar incidente, como mayo, junio y julio, alcanzan picos de hasta 14.44 kWh, la energía aprovechable no supera los 1.50 kW, lo que refleja un rendimiento limitado. Estas pérdidas se atribuyen a factores como la inclinación, la presencia de sombras causadas por vegetación circundante, los factores de mantenimiento, factores externos como la bajas radiación solar, nubosidad u posibles desajustes en las conexiones eléctricas entre otras; Adicionalmente, las 5 horas diarias de radiación solar efectiva (de 11:00 a.m. a 1:00 p.m.) restringen aún más el potencial del sistema para generar energía. La relación constante entre energía incidente y aprovechable indica que las pérdidas son relativamente homogéneas, pero resalta la necesidad de mejorar el diseño, la instalación y el mantenimiento del sistema para maximizar su eficiencia y aprovechar mejor los recursos disponibles.

La pérdida de energía incidente es significativamente mayor que la cantidad de energía aprovechable utilizada para el bombeo en el sistema de abastecimiento hídrico. Sin embargo, a pesar de esta limitación, el sistema fotovoltaico cumple con la potencia requerida de 0.60 kW

para el funcionamiento de la bomba tipo SQF 3A-10, la cual está diseñada para mover un caudal nominal de 3 m³/h, según las características técnico-operativas de la bomba.

El sistema fotovoltaico mantiene una eficiencia constante del 10%. Aunque los valores de potencia y energía varían mensualmente, la proporción entre ambos refleja un comportamiento estable, dado que las pérdidas contantes sin tener ningún tipo de mejora durante el periodo de estudio. Este desempeño se debe a una serie de limitaciones técnicas, control, estructurales y de diseño, tales como la acumulación de suciedad, la presencia de sombra, falta de limpieza regular de los paneles, un ajuste en su ubicación o inclinación, sistema eléctrico, la falta de capacitación de los trabajadores, la falta de controladores, de un inversor que brindan mayor aprovechamiento y control del sistema. Finalmente, la eficiencia del sistema podría incrementarse evaluando la capacidad de realizar ajustes que mejoren el desempeño general sin comprometer la sostenibilidad del sistema. véase los cálculos en anexos, hoja de cálculo 8.

Tabla 12

Eficiencia del sistema fotovoltaico en condiciones actuales

Sistema fotovoltaico condiciones actuales											
Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Eficiencia del sistema %	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
% de perdido del sistema	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%

Nota. Autoría propia

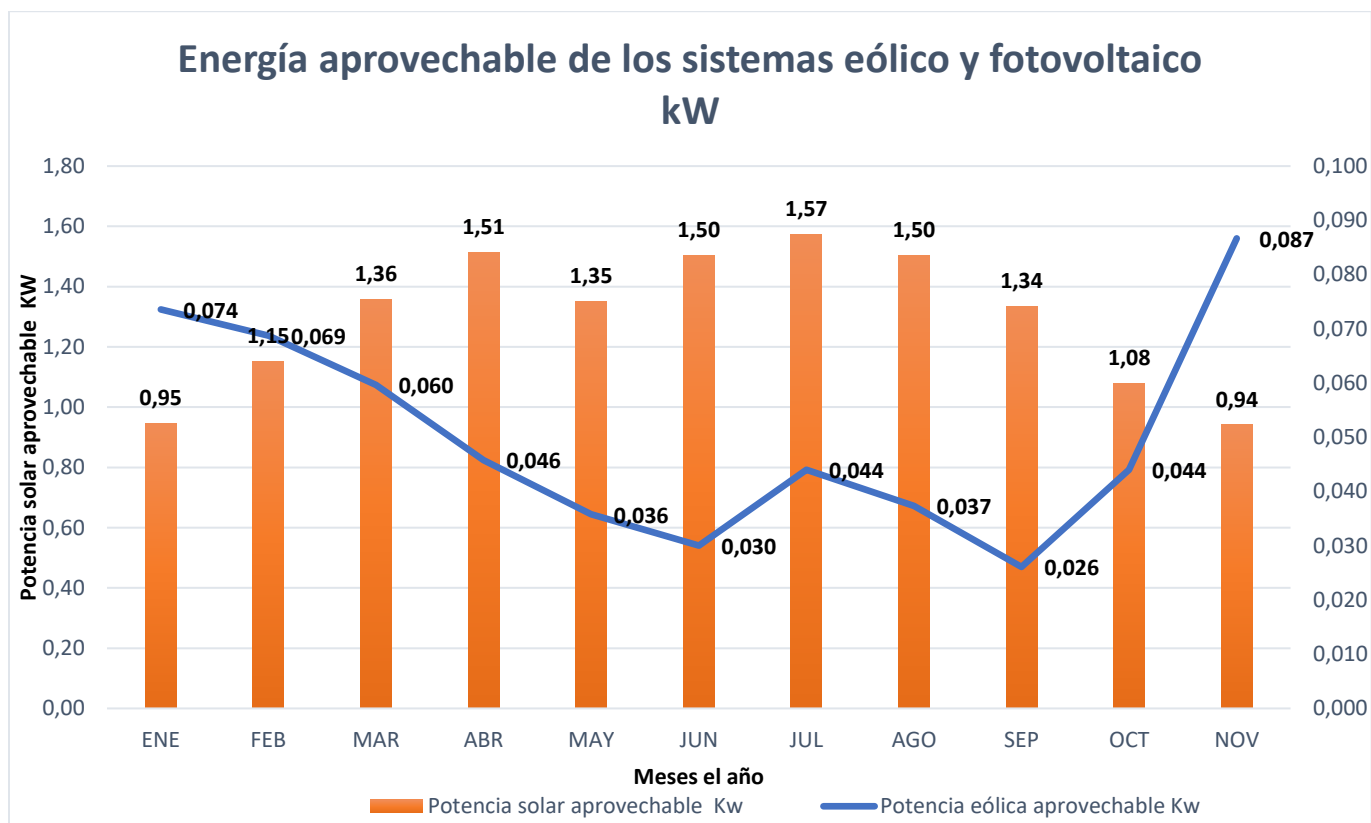
2.3 Comparativo de la energía aprovechable eólico y fotovoltaico

El aprovechamiento energético para el proceso abastecimiento hídrico al sector agropecuario, la figura 7 muestra la energía aprovechable de los sistemas eólico y fotovoltaico a lo largo de los meses de enero hasta diciembre, evidenciando que el sistema fotovoltaico tiene un rendimiento significativamente superior, con valores máximos entre abril y agosto (1.51 kW en

abril hasta septiembre 1.50 kW), mínimos entre enero a febrero y octubre diciembre; En contraste, el sistema eólico presenta valores considerablemente bajos, pero, sin embargo, ambos sistemas tienen el potencial de complementarse ya que durante los períodos de menor radiación solar, el sistema eólico podría contribuir parcialmente al abastecimiento energético, mientras que, en condiciones de baja velocidad del viento, el sistema fotovoltaico puede asumir un rol predominante. Esto resalta en la necesidad de optimizar ambos sistemas para aprovechar sus fortalezas y garantizar un suministro energético más equilibrado y sostenible. Estas diferencias entre los dos sistemas alternativos reflejan la mayor dependencia de la finca "La Liliana" en el sistema fotovoltaico para el abastecimiento hídrico, mientras que el sistema eólico tiene un aporte mínimo, debido a condiciones subóptimas como el mal estado de las turbinas y su ubicación inadecuada entre otras; el sistema fotovoltaico muestra mejor desempeño, pero su eficiencia sigue limitada por factores como sombras, ángulos incorrectos de inclinación y falta de limpieza. Esto resalta la necesidad de optimizar el sistema fotovoltaico y realizar mejoras estructurales en el sistema eólico para garantizar la sostenibilidad energética de la finca para suplir la necesidad de abastecimiento hídrico.

Figura 7

Energía aprovechable de los sistemas eólico y fotovoltaico



Nota. Autoría propia

3. Alternativa propuesta

Para mejorar los sistemas utilizados en la finca La Liliana, se pueden implementar diversas acciones orientadas a optimizar el uso de las (FRE) eólica y fotovoltaica, con el objetivo de promover y garantizar la sostenibilidad del recurso energético, eficiencia y continuidad de las operaciones. En el caso del sistema fotovoltaico, es esencial llevar a cabo un mantenimiento preventivo y correctivo de los paneles solares, incluyendo la limpieza regular de su superficie con un método de rociador de agua o de aire forzado (Llanos et al. 2024), que evitara la acumulación de polvo o residuos que puedan reducir su eficiencia. Además, se recomienda ajustar la inclinación de los paneles, ya que la inclinación actual de 15° con ángulo fijo hacia el

sur resulta subóptima para maximizar la captación de radiación solar, especialmente considerando la variabilidad en los niveles de radiación durante el año.

También es crucial evaluar la posibilidad de instalar baterías de almacenamiento energético, lo que permitiría no solo garantizar un suministro constante durante los periodos de baja radiación solar, sino también aprovechar la energía generada para otras necesidades más allá de alimentar la bomba de tipo SQF-3A-10, como iluminación, equipos eléctricos u otros usos dentro de la finca. Se recomienda implementar inversores que ofrecen ventajas relacionadas con la protección, la eficiencia y la flexibilidad del sistema. Los controladores garantizan un flujo estable y seguro de energía, para optimizar la captación y distribución de la misma, también el realizar un control periódico, cada 15 días o cada tres meses según el estado de las instalaciones, para verificar el buen funcionamiento tanto de la bomba como de los paneles solares y demás componentes. Es importante proteger los paneles contra posibles daños causados por el ganado bovino, utilizando cercas o barreras físicas, y capacitar al personal encargado en la operación y mantenimiento del sistema, asegurando así su durabilidad y eficiencia a largo plazo.

Por otro lado, en lo que respecta al sistema eólico, es fundamental realizar un estudio detallado del potencial eólico del área antes de la instalación, esto es de relevancia, ya que el tipo de aerogenerador a instalar dependerá de las características del viento en la zona (Falvey. 2018). por ende, se recomienda aumentar la altura del aerogenerador entre 10 y 12 metros (Abad Caballero. 2017) para aprovechar de manera más eficiente los vientos predominantes del municipio de Jimaguayú. De esta forma, se reduce la dependencia del sistema fotovoltaico y se optimiza la generación de energía, Además, es fundamental realizar un mantenimiento periódico de las aspas, el rotor y otros componentes claves, asegurando que se encuentren en buen estado y libres de obstrucciones. Asimismo, es conveniente despejar la vegetación u obstáculos cercanos

al aerogenerador para mejorar el flujo de aire y garantizar un rendimiento óptimo. Los obstáculos, como árboles o construcciones, generan turbulencias que reducen la eficiencia del sistema y aceleran el desgaste de sus componentes. Sin embargo, según Ecured (2017), en muchos casos es más recomendable optar por alternativas como elevar la torre del aerogenerador o ubicarlo en áreas naturalmente despejadas, lo cual minimiza los efectos negativos sobre el entorno.

La integración continua del sistema eólico con el sistema fotovoltaico podría ser una estrategia eficaz que la finca "La Liliana" debe seguir para complementar la generación energética, asegurando un suministro constante sin depender exclusivamente de las condiciones climáticas.

De manera complementaria, se recomienda establecer un sistema de monitoreo o controladores de energía que permita evaluar el desempeño de los sistemas alternativos renovables en el proceso de captación de energía para el abastecimiento de agua en el sector agropecuario. Este sistema será clave para identificar posibles fallos y realizar ajustes oportunos. Además, es fundamental capacitar a los miembros de la comunidad y a los trabajadores de la finca en el uso, mantenimiento y cuidado de estos sistemas, lo que contribuirá a su sostenibilidad a largo plazo.

En conjunto, estas acciones no solo mejorarán significativamente la eficiencia operativa de la finca, sino que también fomentarán un enfoque más sostenible en el uso de recursos naturales y energías renovables. Con estas mejoras, la finca "La Liliana" podrá posicionarse como un modelo de referencia en la gestión integral de sistemas energéticos en el ámbito rural.

Conclusiones

En conclusión, el análisis realizado sobre los sistemas eólicos y fotovoltaicos implementados en la finca "La Liliana" en actividades agropecuarias, revela una serie de deficiencias tanto a nivel técnico como operativo. Aunque existen características positivas, como la integración de tecnologías renovables, los sistemas no están operando en condiciones óptimas, lo que afecta su eficiencia y sostenibilidad a largo plazo.

El análisis de la implementación de sistemas eólicos y fotovoltaicos en la finca "La Liliana", basado en un estudio detallado de las condiciones actuales, ha revelado un potencial significativo para mejorar estos sistemas destinados al abastecimiento hídrico agropecuario; donde se determinó que la eficiencia actual es del 20 % para el sistema eólico y del 10 % para el sistema fotovoltaico, donde estas cifras reflejan diversos problemas que afectan su desempeño en el aprovechamiento energético, tales como el mal estado de los equipos, la falta de mantenimiento, la interferencia de vegetación y la ubicación subóptima de los aerogeneradores entre otras, ya mencionadas en este trabajo que necesitan una oportuna intervención de mejora.

A pesar de las deficiencias identificadas, se evidencio la superioridad del sistema fotovoltaico frente al sistema eólico en términos de rendimiento de energía aprovechable. No obstante, ambos sistemas tienen el potencial de complementarse, ya que el sistema eólico podría aportar a la demanda energética durante los períodos de menor radiación solar entre enero a abril y septiembre a noviembre, mientras que el sistema fotovoltaico desempeña un rol predominante en condiciones de baja velocidad del viento de mayo a agosto. Estas características resaltan la

necesidad de optimizar ambos sistemas por medio de alternativas administrativas y de gestión para así optimizar y garantizar un suministro más equilibrado y sostenible.

Recomendaciones

Se recomienda a los propietarios de la finca La Liliana implementar un conjunto de acciones para optimizar el aprovechamiento de recursos e implementar acciones integrales para optimizar el beneficio de los sistemas energéticos y garantizar la sostenibilidad agropecuaria.

En cuanto a los sistemas energéticos, es esencial aumentar el control de los dos sistemas, asegurando rutinas de mantenimiento periódico para optimizar su funcionamiento y prolongar su vida útil, asimismo, se deben evaluar las condiciones técnicas y económicas de estas mejoras para garantizar su viabilidad. Por otro lado, es fundamental implementar programas de capacitación dirigidos al personal encargado del manejo y mantenimiento de estos sistemas renovables.

Finalmente, la adopción de un sistema de monitoreo remoto para supervisar tanto los sistemas eólicos como los fotovoltaicos permitirá detectar fallas tempranas y mejorar la gestión general de los recursos. Estas medidas, en conjunto, contribuirán a reducir costos operativos, garantizar la disponibilidad de energía y fortalecer la productividad de la finca en el largo plazo. Los resultados obtenidos pueden servir de referencia para la valoración de la eficiencia del empleo de las FRE en otras unidades productivas del sector agropecuario en la provincia de Camagüey Cuba.

Referencias Bibliográficas

Abad, C. A. (2017). *Eficiencia energética en el abasto de agua para consumo animal en la UEB Genética Los Pinos de la Empresa Pecuaria Triángulo Tres* (3.^a ed.) [Trabajo de grado, Maestría en Eficiencia Energética, Facultad de Ciencias Técnicas].

Álvarez, L., Paneque, P., & Brizuela, O. Á. (2006). *Costo energético de las operaciones de siembra más comunes en Cuba* [en línea]. Disponible en:

<http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5332/cuf0183s>.

Ángel, L., & Carrera, I. (2021). La energía fotovoltaica y sus particularidades en Cuba / The photovoltaic energy and their particularities in Cuba. <http://orcid.org/0000-0002-5595-9329>.

Basal. (2017). Informe al Taller de Socialización de Indicadores de Efectividad de las Medidas de Adaptación al Cambio Climático. 30 de junio 2017. Cuba.

Benítez, L., Ventura, L., Jerez, P. R., Pompa, C. Y., Tamayo, S. M., & De la Rosa, A. A. (2014). Aplicación de una herramienta de ayuda a la planificación energética en comunidades rurales aisladas. Caso de aplicación Las Peladas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(2), 70–75. ISSN: 1010-2760. E-ISSN: 2071-0054.

Besnier, F. (2019). *La Energía Solar En Agricultura* (11a ed.). Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura. ISBN: 84-341-0226-9.

Bonet, P. C., Rodríguez, C. D., Guerrero, P. P., Mola, F. B., Martínez, D. Ch., Machado, C. M., & Avilés, M. G. (2020). Aprovechamiento de la energía empleada en el riego por aspersión. 10(2), 15–20. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28326.32325>.

Bonet, P. C., Guerrero, P. P., Rodríguez, C. D., Mola, F. B., & Avilés, M. G. (2019). Propuesta De Estrategia Energética Para Abasto De Agua En La Ganadería. *Revista Ingeniería Agrícola*, 9(3), 23–28. ISSN: 2306-1545. E-ISSN: 2227-8761.

Bravo, H. D. (2015). *Energía y Desarrollo Sostenible En Cuba*. Centro Azúcar, 42, 1–12. ISSN: 2223-4861.

Colquehuanca, A. C. (2021). *Influencias de sombras en el comportamiento energético de paneles solares fotovoltaicos* (Doctoral disertación).

De la Rosa, A. A. (2017). Evaluación energética de la fábrica de conservas de frutas y vegetales del municipio Yara de la provincia de Granma. *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(2), 49–54. ISSN: 2227-8761.

ECURED. (2017). Tecnologías para el abasto de agua sustentable (Consulta: agosto 10 del 2017).

Falvey, M. (2018b). Explorador Eólico 2018 Descripción y Guía de Uso. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. (Obra original publicada en 2018).

FAO. (2002). Mejora de la agricultura de secano.
<http://www.fao.org/3/Y3918S/y3918s09.htm>.

Fonseca, R. D. C. (2019). Variabilidad climática. AMA. ISBN: 978-959-300-158-8.

Fonseca, O. (2015). Captación de agua de lluvia para comunidades rurales. (Consulta: junio 10, 2017).

Gaceta Oficial de la República. (2019). Cumplimiento del desarrollo de las fuentes renovables. Resolución n.º 123 (2019) (Gaceta Oficial No. 95).

González, P., Jurado, F., Granados, D., & Ortiz, F. (s.f.). Análisis de eficiencia y degradación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 5(6).

Gutiérrez, U. L. (2022). Agrovoltaica: La simbiosis de la generación fotovoltaica y la agricultura (original). *Agrivoltaics: The symbiosis between agriculture and photovoltaics*.

GRUNDFOS. (2017). Catálogo GRUNDFOS. Sistemas de suministro de agua basados en energías renovables.

INRH. (2018). Boletín de sequía hidrológica octubre 2018. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

INSMET. (2024). Climatología de la Radiación Solar en el período comprendido desde 2001 hasta 2020.

INSMET. (2024). Estudio Climatológico del período comprendido desde 1989 hasta 2018.

Llanos, S., Orellana-Lafuente, R., & Sempértegui-Tapia, D. F. (2024). Análisis de la aplicabilidad de métodos de limpieza de paneles fotovoltaicos para sistemas de generación distribuida en Sudamérica. *Revista Investigación & Desarrollo*, 24(1), 107–120.

<https://doi.org/10.23881/idupbo.024.1-9i>

Mola, F. B. (2023). Riego en la ganadería vacuna en el municipio Jimaguayú [Opción al grado científico, Universidad Máximo Gómez Báez de Ciego de Ávila]. Ciego de Ávila.

Macias, S. I., Gaskin, E. B., Rosa, A. A., Ramos, Z. J., & Pacheco, G. R. (2015). Análisis del consumo energético en camiones cisternas pertenecientes a la empresa comercializadora de combustibles Granma. *Ingeniería Agrícola*, 5(1), 34–38.

Martínez, P. R., & Martínez, P. F. (2014). Requisitos para la evaluación de la gestión de los portadores energéticos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(3), 44–50.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28326.32325>

Martínez, R. (2014). Requisitos para la evaluación de la conformidad de la gestión de los portadores energéticos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(3).

MINAG. (2018). Balance de uso y tenencia de la tierra. Boletín No. 5. La Habana: Imprenta MINAG.

Morejón, M., & Watahiki, Y. T. (2011). Fabrication and evaluation of a solar grain dryer. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3).

Pérez, N. A., Del Risco, D., López, R., Ponce, P., Silva, N., Canosa, E., Lauro, E., Suau, Á., & Margarita, C. (2021). Análisis del viento en el municipio Jimaguayú de la provincia Camagüey para el aprovechamiento eólico. *Revista Ingeniería Agrícola*, 27(3), 1–7.

Pérez, R., Fonseca, C., Cutié, V., González, I., Barcia, S., Hernández, D., Gil, L., Martínez, E., Valderá, N., & Alpízar, M. (2019). Variaciones y cambios observados en el clima en Cuba. La Habana: Instituto de Meteorología. En preparación.

Periódico Granma. (2023, 26 de mayo). Informe a la Asamblea Nacional del PP. Periódico Granma, 1. https://diariodecuba.com/economia/1614785594_29265.html

Ríos, A. (2018, 31 de agosto). Para que los molinos no se los lleve el viento. *Boletín Informativo El Productor*, 31 de agosto de 2018, Año 9, No. 8.

Rodríguez Otalora, D. A. (2022). Caracterización de un rotor multipala americano con 12 aspas para aerobombear [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio Uniandes.

Soto Osorno, J. E., Suárez Romero, J. G., Hernández Arriaga, I., Rodríguez Zalapa, O., & López Fernández, J. A. (2019). Eficiencia en los aerogeneradores de eje horizontal considerando el efecto del tamaño del eje. *Memorias del XXV Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, Mazatlán, México.

Toscana, L., Ortiz, R., Ragier, M. C., & Bellini, E. (2013). Utilización de un método multicriterio para la selección de ONGs que formarán parte de una organización virtual. *Revista Universidad Nacional del Sur*, (34).

Villarino, F. L., & Ríos, H. A. (2013). Fundamentación de fuentes energéticas de baja potencia en casas de cultivos protegidos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 3(2), 3–10.

Wark, K., & Warner, L. (1985). *Contaminación del aire. Origen y control* (2da ed.). Editorial Limusa. ISBN 84-291-7506-7.

ANEXOS

Anexo 1

Estudio de velocidades de viento media mensual por horarios m/s, Climatológico del período comprendido de enero a nov

Mes	Altura(m)	Estadística	1:00 a. m.	4:00 a. m.	7:00 a. m.	10:00 a. m.	1:00 p. m.	4:00 p. m.	7:00 p. m.	10:00 p. m.
ENE	9	Xm	4	3.8	3.7	4.6	4.4	4.3	4.2	4.3
FEB	9	Xm	4	3.7	3.6	4.5	4.2	4.2	4.2	4.3
MAR	9	Xm	3.9	3.6	3.6	4.3	4	4	4.1	4.2
ABR	9	Xm	3.6	3.3	3.6	3.9	3.6	3.7	3.9	4
MAY	9	Xm	3.3	3.1	3.5	3.6	3.3	3.4	3.5	3.6
JUN	9	Xm	2.9	2.8	3.2	3.5	3.2	3.1	2.9	3.1
JUL	9	Xm	3.2	3	3.5	3.9	3.7	3.6	3.4	3.5
AGO	9	Xm	3.1	2.8	3.2	3.7	3.4	3.4	3.2	3.3
SEP	9	Xm	2.7	2.5	2.7	3.3	3	3	2.8	2.9
OCT	9	Xm	3.1	3	3.1	3.9	3.6	3.6	3.4	3.4
NOV	9	Xm	3.9	3.7	3.8	4.8	4.6	4.6	4.4	4.3

Nota. Tomado (INSMET. 2024).

Hoja de cálculo 1

Velocidad del viento para las horas de uso del aerogenerador 10: 00 am a 1: pm. y de 4:00 pm a 7:00 pm

Enero:

$$V = \frac{\sum 4.6W + 4.3w}{2} = 4.45 \text{ m/s}$$

Febrero:

$$V = \frac{\sum 4.5W + 4.2w}{2} = 4.35 \text{ m/s}$$

Marzo:

$$V = \frac{\sum 4.3w + 4w}{2} = 4.15 \text{ m/s}$$

Abril:

$$V = \frac{\sum 3.9W + 3.7w}{2} = 3.8 \text{ m/s}$$

Mayo:

$$V = \frac{\sum 3.6W + 3.4w}{2} = 3.5 \text{ m/s}$$

Junio:

$$V = \frac{\sum 3.5W + 3.1w}{2} = 3.75 \text{ m/s}$$

Julio:

$$V = \frac{\sum 3.9W + 3.6w}{2} = 3.55 \text{ m/s}$$

Agosto:

$$V = \frac{\sum 3.7W + 3.4w}{2} = 4.70 \text{ m/s}$$

Septiembre:

$$V = \frac{\sum 3.3W + 3w}{2} = 4.65 \text{ m/s}$$

Octubre:

$$V = \frac{\sum 3.9W + 3.6w}{2} = 3.75 \text{ m/s}$$

Noviembre:

$$V = \frac{\sum 4.8W + 4.6w}{2} = 4.70 \text{ m/s}$$

Hoja de cálculo 2

- *Cálculo del área del rotor del aerogenerador.*

$$A = \pi * 1.215m^2 = 5 m^2$$

- *Cálculo de la energía cinética del viento Watts.*

Enero:

$$E = \frac{1}{2} * 1.2 Kg/m^3 * 5m^2 * 4.45^3 = 245.2 W$$

Febrero:

$$E = \frac{1}{2} * 1.2 Kg/m^3 * 5m^2 * 4.35^3 = 229.0 W$$

Marzo:

$$E = \frac{1}{2} * 1.2 Kg/m^3 * 5m^2 * 4.15^3 = 198.9 W$$

Abril:

$$E = \frac{1}{2} * 1.2 Kg/m^3 * 5m^2 * 3.80^3 = 152.7 W$$

Mayo:

$$E = \frac{1}{2} * 1.2 Kg/m^3 * 5m^2 * 3.5^3 = 119.3 W$$

Junio:

$$E = \frac{1}{2} * 1.2 Kg/m^3 * 5m^2 * 3.3^3 = 100 W$$

Julio:

$$E = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 3.75^3 = 146.7 \text{ W}$$

Agosto:

$$E = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 3.55^3 = 124.5 \text{ W}$$

Septiembre:

$$E = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 3.15^3 = 87 \text{ W}$$

Octubre:

$$E = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 3.75^3 = 146.7 \text{ W}$$

Noviembre:

$$E = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 4.70^3 = 288.9 \text{ W}$$

Hoja de cálculo 3

- *Cálculo de la potencia eólica aprovechable Watts.*

Enero:

$$Pea = \frac{1}{2} * 1.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 5\text{m}^2 * 4.45^3 * 0.20 = 49 \text{ W}$$

Febrero:

$$Pea = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 4.35^3 * 0.20 = 45.8 \text{ W}$$

Marzo:

$$Pea = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 4.15^3 * 0.20 = 39.8 \text{ W}$$

Abril:

$$Pea = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 3.80^3 * 0.20 = 30.5W$$

Mayo:

$$Pea = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 3.5^3 * 0.20 = 23.9 W$$

Junio:

$$Pea = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 3.3^3 * 0.20 = 20 W$$

Julio:

$$Pea = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 3.75^3 * 0.20 = 29.3 W$$

Agosto:

$$Pea = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 3.55^3 * 0.20 = 24.9 W$$

Septiembre:

$$Pea = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 3.15^3 * 0.20 = 14.4 W$$

Octubre:

$$Pea = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 3.75^3 * 0.20 = 29.3 W$$

Noviembre:

$$Pea = \frac{1}{2} * 1.2 \text{ Kg/m}^3 * 5\text{m}^2 * 4.70^3 * 0.30 = 57.8W$$

Hoja de cálculo 4

- *Eficiencia del sistema eólico*

Enero

Potencia eólica aprovechable: 49.0 W

Energía cinética del viento: 245.2 W

$$n = \frac{49.0 \text{ W}}{245.2 \text{ W}} * 100\%$$

$$n = 20\%$$

$$\text{Perdida del sistema} = 100\% - 20\%$$

pérdida del sistema = 80% para enero

Febrero

Potencia eólica aprovechable: 45.8 W

Energía cinética del viento: 229 W

$$n = \frac{45.8 \text{ W}}{229 \text{ W}} * 100\%$$

$$n = 20\%$$

$$\text{Perdida del sistema} = 100\% - 20\%$$

perdida del sistema = 80% para febrero

Marzo

Potencia eólica aprovechable: 39.8 W

Energía cinética del viento: 198.9 W

$$n = \frac{39.8 \text{ W}}{198.9 \text{ W}} * 100\%$$

$$n = 20\%$$

$$\text{Perdida del sistema} = 100\% - 20\%$$

$$\text{perdida del sistema} = 80\% \text{ para marzo}$$

Abril

Potencia eólica aprovechable: 30.5 W

Energía cinética del viento: 152.7 W

$$n = \frac{30.5 \text{ W}}{152.7 \text{ W}} * 100\%$$

$$n = 20\%$$

$$\text{Perdida del sistema} = 100\% - 20\%$$

$$\text{perdida del sistema} = 80\% \text{ para abril}$$

Mayo

Potencia eólica aprovechable: 23.9 W

Energía cinética del viento: 119.3 W

$$n = \frac{23.9 \text{ W}}{119.3 \text{ W}} * 100\%$$

$$n = 20\%$$

$$\text{Perdida del sistema} = 100\% - 20\%$$

$$\text{perdida del sistema} = 80\% \text{ para mayo}$$

Junio

Potencia eólica aprovechable: 20 W

Energía cinética del viento: 100 W

$$n = \frac{20 \text{ W}}{100 \text{ W}} * 100\%$$

$$n = 20\%$$

$$\textit{Perdida del sistema} = 100\% - 20\%$$

$$\textit{perdida del sistema} = 80\% \textit{ para junio}$$

Julio

Potencia eólica aprovechable: 29.3 W

Energía cinética del viento: 146.7 W

$$n = \frac{29.3 \text{ W}}{146.7 \text{ W}} * 100\%$$

$$n = 20\%$$

$$\textit{Perdida del sistema} = 100\% - 20\%$$

$$\textit{perdida del sistema} = 80\% \textit{ para julio}$$

Agosto

Potencia eólica aprovechable: 24.9 W

Energía cinética del viento: 124.5 W

$$n = \frac{24.9 \text{ W}}{124.5 \text{ W}} * 100\%$$

$$n = 20\%$$

$$\textit{Perdida del sistema} = 100\% - 20\%$$

$$\textit{perdida del sistema} = 80\% \textit{ para agosto}$$

Septiembre

Potencia eólica aprovechable: 17.4 W

Energía cinética del viento: 87 W

$$n = \frac{17.4 \text{ W}}{87 \text{ W}} * 100\%$$

$$n = 20\%$$

$$\text{Perdida del sistema} = 100\% - 20\%$$

perdida del sistema = 80% para septiembre

Octubre

Potencia eólica aprovechable: 29.3 W

Energía cinética del viento: 146.7 W

$$n = \frac{29.3 \text{ W}}{146.7 \text{ W}} * 100\%$$

$$n = 20\%$$

$$\text{Perdida del sistema} = 100\% - 20\%$$

perdida del sistema = 80% para octubre

Noviembre

Potencia eólica aprovechable: 57.8 W

Energía cinética del viento: 288.9 W

$$n = \frac{57.8 \text{ W}}{288.9 \text{ W}} * 100\%$$

$$n = 20\%$$

$$\text{Perdida del sistema} = 100\% - 20\%$$

perdida del sistema = 80% para noviembre

Anexo 2

Datos la Radiación Solar medios horarios (W) en el período comprendido enero y noviembre.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
6:00	0	0	0	1	5	7	3	0	0	0	0
7:00	0	3	20	61	90	94	84	63	48	31	14
8:00	63	87	148	215	235	237	235	214	194	156	122
9:00	204	244	316	380	387	386	390	375	352	299	266
10:00	243	292	366	426	49	420	432	420	394	326	284
11:00	343	407	471	526	510	513	535	524	490	413	361
12:00	397	468	530	575	549	561	561	576	534	450	394
13:00	399	459	531	568	540	557	593	575	527	436	382
14:00	355	434	482	513	484	491	535	515	455	367	327
15:00	378	452	496	515	486	500	534	513	448	363	336
16:00	268	332	372	383	362	367	400	373	310	239	216
17:00	140	195	229	242	228	232	255	231	171	115	94
18:00	28	61	86	101	104	115	128	102	56	19	7

Nota. Tomado (INSMET. 2024).

Hoja de cálculo 5

- *Cálculo de la energía solar incidente kWh actual.*

Enero:

$$Ei = \frac{\sum_{t=6}^{18} \text{medios horarios de enero} * (1 * 18 \text{ m}^2 * 0.179)}{1000} = 9.08 \text{ kWh}$$

Febrero:

$$Ei = \frac{\sum_{t=6}^{18} \text{medios horarios de febrero} * (1 * 18 \text{ m}^2 * 0.179)}{1000} = 11.06 \text{ kWh}$$

Marzo:

$$Ei = \frac{\sum_{t=6}^{18} \text{medios horarios de marzo} * (1 * 18 \text{ m}^2 * 0.179)}{1000} = 13.04 \text{ kWh}$$

Abril:

$$Ei = \frac{\sum_{t=6}^{18} \text{medios horarios de abril} * (1 * 18 \text{ m}^2 * 0.179)}{1000} = 14.52 \text{ kWh}$$

Mayo:

$$Ei = \frac{\sum_{t=6}^{18} \text{medios horarios de mayo} * (1 * 18 \text{ m}^2 * 0.179)}{1000} = 12.98 \text{ kWh}$$

Junio:

$$Ei = \frac{\sum_{t=6}^{18} \text{medios horarios de junio} * (1 * 18 \text{ m}^2 * 0.179)}{1000} = 14.44 \text{ kWh}$$

Julio:

$$Ei = \frac{\sum_{t=6}^{18} \text{medios horarios de julio} * (1 * 18 \text{ m}^2 * 0.179)}{1000} = 15.09 \text{ kWh}$$

Agosto:

$$Ei = \frac{\sum_{t=6}^{18} \text{medios horarios de agosto} * (1 * 18 \text{ m}^2 * 0.179)}{1000} = 14.38 \text{ kWh}$$

Septiembre:

$$Ei = \frac{\sum_{t=6}^{18} \text{medios horarios de septiembre} * (1 * 18 \text{ m}^2 * 0.179)}{1000} = 12.82 \text{ kWh}$$

Octubre:

$$Ei = \frac{\sum_{t=6}^{18} \text{medios horarios de noviembre} * (1 * 18 \text{ m}^2 * 0.179)}{1000} = 10.36 \text{ kWh}$$

Noviembre:

$$Ei = \frac{\sum_{t=6}^{18} \text{medios horarios de noviembre} * (1 * 18 \text{ m}^2 * 0.179)}{1000} = 9.03 \text{ kWh}$$

Hoja de cálculo 6

- *Potencia promedio diaria del panel solar kWh/día*

Enero:

$$P_{\text{promed}} = \frac{9.08 \text{ kWh}}{24} = 0.38 \text{ kWh}$$

Febrero:

$$P_{promed} = \frac{11.064 \text{ kWh}}{24} = 0.46 \text{ kWh}$$

Marzo:

$$P_{promed} = \frac{13.099 \text{ kWh}}{24} = 0.54 \text{ kWh}$$

Abril:

$$P_{promed} = \frac{14.518 \text{ kWh}}{24} = 0.60 \text{ kWh}$$

Mayo:

$$P_{promed} = \frac{12.981 \text{ kWh}}{24} = 0.54 \text{ kWh}$$

Junio:

$$P_{promed} = \frac{14.4351 \text{ kWh}}{24} = 0.60 \text{ kWh}$$

Julio:

$$P_{promed} = \frac{15.0951 \text{ kWh}}{24} = 0.63 \text{ kWh}$$

Agosto:

$$P_{promed} = \frac{14.438 \text{ kWh}}{24} = 0.60 \text{ kWh}$$

Septiembre:

$$P_{promed} = \frac{12.820 \text{ kWh}}{24} = 0.53 \text{ kWh}$$

Octubre:

$$P_{promed} = \frac{10.356 \text{ kWh}}{24} = 0.43 \text{ kWh}$$

Noviembre:

$$P_{promed} = \frac{9.031 \text{ kWh}}{24} = 0.38 \text{ kWh}$$

Hoja de cálculo 7

- *Potencia aprovechable kWh*

Enero:

$$P_s = 0.38kWh * 5h * [(1 - 0.20) * (1-0.05) * (1-0.22) * (1-0.15)] = 0.48 \text{ kW}$$

Febrero:

$$P_s = 0.46kWh * 5h * [(1 - 0.20) * (1-0.05) * (1-0.22) * (1-0.15)] = 1.16 \text{ kW}$$

Marzo:

$$P_s = 0.54kWh * 5h * [(1 - 0.20) * (1-0.05) * (1-0.22) * (1-0.15)] = 1.37 \text{ kW}$$

Abril:

$$P_s = 0.60kWh * 5h * [(1 - 0.20) * (1-0.05) * (1-0.22) * (1-0.15)] = 1.52 \text{ kW}$$

Mayo:

$$P_s = 0.54kWh * 5h * [(1 - 0.20) * (1-0.05) * (1-0.22) * (1-0.15)] = 1.36 \text{ kW}$$

Junio:

$$P_s = 0.60kWh * 5h * [(1 - 0.20) * (1-0.05) * (1-0.22) * (1-0.15)] = 1.52 \text{ kW}$$

Julio:

$$P_s = 0.63kWh * 5h * [(1 - 0.20) * (1-0.05) * (1-0.22) * (1-0.15)] = 1.58 \text{ kW}$$

Agosto:

$$P_s = 0.60kWh * 5h * [(1 - 0.20) * (1-0.05) * (1-0.22) * (1-0.15)] = 1.52 \text{ kW}$$

Septiembre:

$$P_s = 0.53kWh * 5h * [(1 - 0.20) * (1-0.05) * (1-0.22) * (1-0.15)] = 1.35 \text{ kW}$$

Octubre:

$$P_s = 0.43kWh * 5h * [(1 - 0.20) * (1-0.05) * (1-0.22) * (1-0.15)] = 1.09 \text{ kW}$$

Noviembre:

$$P_s = 0.38kWh * 5h * [(1 - 0.20) * (1 - 0.05) * (1 - 0.22) * (1 - 0.15)] = 0.95kW$$

Hoja de cálculo 8

- *Eficiencia de sistema fotovoltaico*

Enero

Potencia solar aprovechable: 0.95 kW

Energía solar incidente: 9.080 kW

$$n = \frac{0.95 \text{ kW}}{9.080 \text{ kW}} * 100\%$$

$$n = 10 \%$$

$$\text{Perdida del sistema} = 100 \% - 10\%$$

$$\text{perdida del stema} = 90\% \text{ para enero}$$

febrero

Potencia solar aprovechable: 1.15 kW

Energía solar incidente: 11.064 kW

$$n = \frac{1.15 \text{ kW}}{11.064 \text{ kW}} * 100\%$$

$$n = 10 \%$$

$$\text{Perdida del sistema} = 100 \% - 10 \%$$

$$\text{perdida del sistema} = 90\% \text{ para febrero}$$

Marzo

Potencia solar aprovechable: 1.36 kW

Energía solar incidente: 13.039 kW

$$n = \frac{1.36 \text{ kW}}{13.036 \text{ kW}} * 100\%$$

$$n = 10 \%$$

Perdida del sistema = 100 % – 10 %

perdida del sistema = 90% para marzo

Abril

Potencia solar aprovechable: 1.51 kW

Energía solar incidente: 14.518 kW

$$n = \frac{1.51 \text{ kW}}{14.518 \text{ kW}} * 100\%$$

$$n = 10 \%$$

Perdida del sistema = 100% – 10%

perdida del sistema = 90 % para abril

Mayo

Potencia solar aprovechable: 1.35 kW

Energía solar incidente: 12.981 kW

$$n = \frac{1.35 \text{ kW}}{12.981 \text{ kW}} * 100\% e$$

$$n = 10 \%$$

Perdida del sistema = 100% – 10%

perdida del sistema = 90 % para mayo

Junio

Potencia solar aprovechable: 1.50 kW

Energía solar incidente: 14.435 kW

$$n = \frac{1.50 \text{ kW}}{14.435 \text{ kW}} * 100\% e$$

$$n = 10 \%$$

$$\textit{Perdida del sistema} = 100\% - 10\%$$

$$\textit{perdida del sistema} = 90 \% \textit{ para junio}$$

Julio

Potencia solar aprovechable: 1.57 kW

Energía solar incidente: 15.095 kW

$$n = \frac{1.57 \text{ kW}}{15.095 \text{ kW}} * 100\%$$

$$n = 10\%$$

$$\textit{Perdida del sistema} = 100\% - 10\%$$

$$\textit{perdida del sistema} = 90 \% \textit{ para julio}$$

Agosto

Potencia solar aprovechable: 1.50 kW

Energía solar incidente: 14.438 kW

$$n = \frac{1.50 \text{ kW}}{14.438 \text{ kW}} * 100\%$$

$$n = 10 \%$$

$$\textit{Perdida del sistema} = 100\% - 10\%$$

perdida del sistema = 90 % para agosto

Septiembre

Potencia solar aprovechable: 1.34 kW

Energía solar incidente: 12.820 kW

$$n = \frac{1.34 \text{ kW}}{12.820 \text{ kW}} * 100\%$$

$$n = 10 \%$$

Perdida del sistema = 100% – 10%

perdida del sistema = 90 % para septiembre

Octubre

Potencia solar aprovechable: 1.08 kW

Energía solar incidente: 10.356 kW

$$n = \frac{1.08 \text{ kW}}{10.356 \text{ kW}} * 100\%$$

$$n = 10 \%$$

Perdida del sistema = 100% – 10%

perdida del sistema = 90 % para octubre

Noviembre

Potencia solar aprovechable: 0.94 kW

Energía solar incidente: 9.031 kW

$$n = \frac{0.94 \text{ kW}}{9.031 \text{ kW}} * 100\%$$

$$n = 10 \%$$

$$\text{Pérdida del sistema} = 100\% - 10\%$$

$$\text{pérdida del sistema} = 90 \% \text{ para noviembre}$$

ANEXO 3

La tabla muestra las características técnicas de los paneles DSM-250.

Paneles DSM – 250	Cantidades
Potencia máxima	250 Wp
Corriente de corto circuito	8.55 A
Voltaje a circuito abierto	37.7 V
Corriente de máxima potencia	8.19 A
Voltaje de máxima potencia	30.5 V
Eficiencia	17.9 % – 19 %

Nota Tomado de Angel & Carrera (2021)

ANEXO 5

Finca la Liliana sistema fotovoltaico.



Nota. Autoría propia

ANEXO 6

Finca la Liliana sistema eólico



Nota. Autoría propia