

Factibilidad de la introducción de un sistema solar fotovoltaico en un agroecosistema lechero

Feasibility of the Introduction of a Solar Photovoltaic System in a Dairy Agroecosystem



<https://cu-id.com/2177/v31n4e03>

Jenifer Alvarez-Lima*, Javier A. León-Martínez,
 Yanoy Morejón-Mesa, Ramón Pelegrín-Rodríguez

Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN: La presente investigación se orienta en la determinación de la factibilidad de la introducción de un sistema solar fotovoltaico en la Vaquería 021 de la Granja Universitaria “El Guayabal” perteneciente a la Universidad Agraria de La Habana. Se evaluó el consumo de energía eléctrica y se determinó la factibilidad de tres variantes en cuanto a la cantidad de paneles solares (342, 126 y 128) con que debe contar el sistema solar fotovoltaico para satisfacer la demanda energética. Se realizó un análisis del impacto económico y medioambiental de la instalación propuesta, el cual, arrojó que la misma permitirá un ahorro de energía eléctrica no menor a 43 781,75 kWh/año. Con las tres variantes analizadas se obtuvo un ahorro por concepto de energía no consumida, dejándose de emitir a la atmósfera anualmente al menos 49,47 t de CO₂, y de consumir al menos 11,47 t de combustible fósil. El costo preliminar para establecer la instalación propuesta se estimó en: 386 255,2 CUP, 419 586,6 CUP y 1 048 290 CUP, de acuerdo con las variantes “sin considerar el sistema de bombeo actual, considerando el sistema de bombeo actual y valorando la introducción del sistema de bombeo solar PS2-150 C-SJ5-8”, respectivamente. El sistema de acumulación de energía no se incluyó en ninguna de las variantes.

Palabras clave: energía, paneles solares, producción lechera.

ABSTRACT: This research is aimed at determining the feasibility of introducing a photovoltaic solar system in 021 Dairy Farm of "El Guayabal" University Farm belonging to the Agrarian University of Havana. The consumption of electrical energy was evaluated and the feasibility of three variants was determined in terms of the number of solar panels (342, 126 and 128) that the photovoltaic solar system must have to satisfy the energy demand. An analysis of the economic and environmental impact of the proposed installation was carried out, which showed that it will allow a saving of electrical energy higher than 43,781.75 kWh/year. With the three variants analyzed, savings were obtained in terms of energy not consumed, avoiding the emission of at least 49.47 t of CO₂ into the atmosphere annually, and the consumption of at least 11.47 t of fossil fuel. The preliminary cost to establish the installation proposed was estimated at: 386,255.2 CUP, 419,586.6 CUP and 1,048,290 CUP, according to the variants: without considering the current pumping system, considering the current pumping system and assessing the introduction of the solar pumping system PS2-150 C-SJ5-8, respectively. The energy storage system was not included in any of the variants.

Keywords: Energy, Solar Panels, Milk Production.

INTRODUCCIÓN

La leche constituye un alimento básico e indispensable en la dieta humana debido a su excelente calidad nutricional y aporte energético. En la región de América Latina y el Caribe se consumen 185 kcal/cápita/día (Acosta et al., 2017). Para Cuba, representa un eslabón de eminente importancia dentro del escenario agropecuario por su elevada demanda de consumo. En el año 2016 se alcanzó una producción

nacional de 612 800 t (ONEI-Cuba, 2017). Sin embargo, estos volúmenes no satisfacen la demanda de la industria ni de los consumidores, por lo que el país se ve obligado a invertir millones de dólares anualmente, en la importación de significativas cantidades de productos lácteos (Martínez et al. (2017); aspecto que convierte a la producción lechera en un asunto de seguridad nacional.

*Author for correspondence: Jenifer Alvarez-Lima, e-mail: jenifer93@unah.edu.cu

Recibido: 13/03/2022

Aceptado: 14/09/2022

Por otro lado, el agotamiento de las fuentes de energía fósil, la inestabilidad de los precios del petróleo en los mercados internacionales y los efectos negativos acumulados sobre el medioambiente por la quema de hidrocarburos son elementos suficientes que indican la urgencia de definir estrategias conscientes y decididas para el uso de fuentes renovables de energía, a escala local y global (Funes, 2009; Hernández et al., 2019). En Cuba, se realizan grandes esfuerzos para lograr un desarrollo que integre el aprovechamiento eficiente de los recursos energéticos, a las expectativas de calidad de vida de la población (Blanco et al., 2014).

Debido al agotamiento de las reservas mundiales de petróleo, el cual es utilizado como fuente directa de energía, o bien para que a través de él se generen otras energías (eléctrica, por ejemplo), este fenómeno irreversible ha sido denominado como "Crisis Energética". Las razones pueden ser muchas: aumento del consumo de energía eléctrica debido al constante crecimiento, tanto del sector residencial, como del sector industrial, quienes son los que demandan la mayor cantidad de energía, aumento del parque automotriz, agotamiento de recursos naturales como el agua dulce, junto con el ya mencionado petróleo. Frente a esta crisis ha surgido la necesidad de aprovechar de mejor forma los recursos energéticos disponibles, se han ideado formas de aprovechar distintos tipos de energías naturales con el propósito de convertirlas en energía eléctrica, las que además cuentan con la ventaja de ser renovables (León et al., 2021).

La radiación solar es utilizada directamente en transformaciones térmicas y fotovoltaicas, esto es, en forma de calor y electricidad. La conversión térmica es actualmente la forma más eficiente, económicamente y ventajosa de usar la energía solar. La generalización del uso doméstico del agua caliente solar para el aseo personal, el fregado y la cocción de alimentos, significan ahorros considerables del consumo de combustibles contaminantes. También es muy alto el consumo de combustibles en el calentamiento de agua y otros fluidos en la industria, el comercio, el turismo y en edificaciones sociales como escuelas y hospitales; el mismo pudiera ser satisfecho con instalaciones solares, de forma sostenible y ambientalmente sanas (Bérriz y Álvarez, 2008; Bérriz et al., 2016).

En el caso específico de energía solar fotovoltaica, consiste en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores mediante las células fotovoltaicas. El material base para la fabricación de paneles fotovoltaicos suele ser el silicio. Cuando la luz del Sol (fotones) incide en una de las caras de la célula solar genera una corriente eléctrica. Esta electricidad generada se puede

aprovechar como fuente de energía (Sánchez et al., 2017; Perpiñán, 2020; Kaffman, 2021).

En la actualidad no se conoce la factibilidad económica de la introducción de un sistema solar fotovoltaico, que satisfaga la demanda de la vaquería 021 de la Granja Universitaria "El Guayabal", y se caracterice, además, por poseer cargas estáticas, por lo que se considera que la caracterización de la propuesta de un sistema solar fotovoltaico podrá ser concebido a partir del dimensionamiento prospectivo del consumo de energía eléctrica. En coherencia, el objetivo de esta investigación fue determinar la factibilidad de la introducción de un sistema solar fotovoltaico en dicho agroecosistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área experimental

La Vaquería 021 de la Granja Universitaria "El Guayabal", perteneciente a la Universidad Agraria de La Habana (UNAH), se encuentra ubicada a los 23°00'12.5" latitud Norte, y 82°09'57.9" longitud Oeste en el municipio San José de Las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba. Limita al noroeste con la Vaquería 23, al noreste con la Autopista Nacional, al sureste con la Vaquería 25 y al suroeste con la Vaquería 22. El área total es de 36 ha, con suelo Ferralítico Rojo típico (Hernández et al., 2019) en toda su extensión. Tiene un relieve llano, altura sobre el nivel del mar de 120 m e insolación anual de 1825 kWh/m² (Díaz, 2018). Las variables meteorológicas registradas durante el periodo 2015-2021 en la Estación Meteorológica Tapaste (Figura.1), mostraron que las temperaturas máximas alcanzadas en la región superaron los 26 °C entre los meses de junio a septiembre y las más frías descendieron como promedio hasta 20,76 °C en enero. Las precipitaciones manifestaron incrementos a partir de mayo, e indicaron los valores medios más elevados en junio y agosto con 255,50 y 245,16 mm, respectivamente. La humedad relativa varió entre 72,8 % (mínimo, en marzo) y 84,6 % (máximo, en diciembre), mientras que la velocidad del viento expresó su tope máximo de 5,46 km/h durante el mes de febrero. El comportamiento de estas variables climáticas permite desarrollar satisfactoriamente la ganadería lechera.

Como resultado del estudio del comportamiento del consumo de energía eléctrica en la Vaquería 021, durante el año 2021, se pudo constatar un alto consumo equivalente a un promedio mensual de 3102,083 kWh.

La vaquería dispone de 34 vacas en ordeño, las que alcanzaron una producción promedio de leche diaria durante el 2021, de 7,4 L/vaca, por lo que diariamente esta vaquería acopia un total de 251,6 L/día.

Estimación del consumo de la instalación

Para el dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica, inicialmente se determinó el consumo medio diario crítico de la carga a la que potencialmente se le ha de suministrar energía. Este parámetro está asociado a los días de mayor consumo de energía. Debido a que, en Cuba, el comportamiento de la incidencia de radiación solar no varía bruscamente durante los 12 meses del año, el valor medio mensual de la radiación incidente para un ángulo de inclinación de (18°-25°) grados al sur es de 5,00 kWh/m² (Bérriz et al., 2016).

Para determinar la energía que ha de entregar el sistema fotovoltaico, se consideraron las pérdidas que involucran las baterías, el inversor y los conductores.

Para calcular el consumo medio diario de la instalación se tuvo en cuenta el consumo medio para cargas constantes y el número de inventarios, debido a que los equipos con los que se trabaja en el área objeto de estudio se someten a cargas estáticas como es el caso de: molino forrajero, sistema de refrigeración, sistema de ordeño mecanizado, bomba de agua, cerca eléctrica e iluminación. Se consideran cargas eléctricas estáticas aquellas que tienen un consumo fijo de energía eléctrica en el tiempo (Prado, 2008; Encuentra, 2020).

Por tanto, considerándose la metodología planteada por León et al. (2021) es posible determinar el consumo medio diario de la instalación, mediante la siguiente expresión:

$$L_{mdn} = \frac{L_{md}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{cond}} \cdot kWh \quad (1)$$

donde:

L_{md} : Consumo medio real crítico de la carga, kWh;

η_{bat} : Eficiencia de las baterías;

η_{inv} : Eficiencia del inversor;

η_{cond} : Eficiencia de los conductores.

Para la determinación de la demanda energética del escenario productivo se realiza un levantamiento de los medios y equipos eléctricos situados en el área objeto de estudio, determinándose la potencia (N) de cada uno de ellos y el tiempo de operación diario (T_0), con estos dos parámetros se puede determinar la energía consumida diariamente (L_{md}) en la instalación, lo cual se puede determinar mediante la expresión siguiente:

$$L_{md} = N \cdot T_0, kWh \quad (2)$$

donde:

N: Potencia de los equipos y medios eléctricos, kW;

T_0 : Tiempo de operación diario, h.

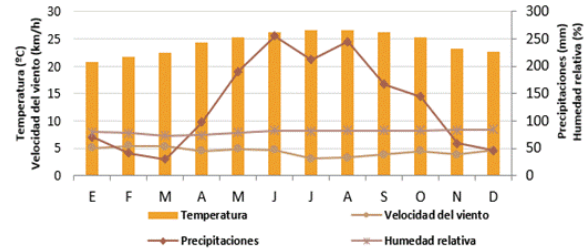


FIGURA 1. Promedios mensuales de las variables climáticas en la Vaquería 021, periodo 2015-2021.

Fuente: Estación Meteorológica de Tapaste.

Metodología para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Para la determinación del número de paneles solares requeridos se empleó un criterio basado en la estimación del consumo de Amperes-hora (Ah) de la instalación según lo recomendado por Hernández (2007), siendo el consumo medio de corriente diario requerido:

$$Q_{Ah} = \frac{L_{mdn}}{V_{bat}}, Ah/día \quad (3)$$

donde:

V_{bat} : Voltaje de las baterías (12 V), V.

Así mismo, según Alonso (2011) y Cantos (2016), la corriente que debe generar un sistema fotovoltaico en el mes crítico de radiación solar se determina como:

$$I_{gf v, mpp} = \frac{Q_{Ah}}{HPS_{crit}}, A \quad (4)$$

donde:

HPS_{crit} : horas de sol pico del mes crítico, h.

Luego, siendo $I_{gf v, mpp}$ la corriente generada por el sistema fotovoltaico (el total de placas solares instaladas) y dividirla entre la corriente unitaria de cada módulo fotovoltaico, se obtiene el número total de módulos necesarios a conectar en paralelo (Alonso, 2011). De modo que:

$$Np = \frac{I_{gf v, mpp}}{I_{mod}} \quad (5)$$

donde:

I_{mod} : Corriente unitaria específica de cada módulo fotovoltaico A.

Cada módulo fotovoltaico está compuesto por cuatro paneles, un micro-inversor de inyección a red de 250 W y ocupa un área de 3,12 m².

Metodología para el dimensionamiento del sistema de acumulación

En esta investigación no se consideró la determinación de un sistema de acumulación, dado que concebir este, encarecería considerablemente la introducción de la energía solar fotovoltaica en el escenario objeto de estudio.

Metodología para la estimación del impacto económico de la instalación

Cuando se utiliza un sistema solar fotovoltaico se aprovecha de manera eficiente una energía limpia, renovable y segura. Se contribuye de manera importante en la reducción de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático y se mejora de forma considerable la calidad del aire, ya que disminuye significativamente el uso de combustibles fósiles. Producto a lo antes expuesto resulta necesario conocer cuánto se deja de consumir en energía fósil (número de kWh de electricidad evitados mensual y anualmente) con la implementación de este sistema solar fotovoltaico según (Canvi climàtic (2011); Acevedo 2016). Acevedo (2016) señala que a partir de la utilización de estos sistemas solares fotovoltaicos se ahorra cierta cantidad de energía eléctrica en un mes por lo cual:

$$Q_{CM} = L_{md} \cdot D_m, kWh \quad (6)$$

donde:

D_m : Días que tiene un mes.

Siendo la energía ahorrada en un año:

$$Q_{CA} = 12 \cdot Q_{CM} \cdot D_m, kWh \quad (7)$$

Para determinar el costo de la energía ahorrada en un año, se consideró lo establecido en la Resolución 66/2021 Bolaños (2021) del Ministerio de Finanzas y Precios de la República de Cuba, la cual establece las tarifas eléctricas en pesos cubanos (CUP)* para el cobro del servicio eléctrico. Para el caso específico de la presente investigación, al tratarse de una vaquería, cuyo objeto social es la producción de leche bovina, se considera el sistema de tarifas de alta tensión con actividad continua, específicamente la que responde a la energía consumida durante el horario del día:

$$C_{dia} = (a \cdot K + b) \cdot Q_{cdia}, CUP/dia \quad (8)$$

donde:

a, b: Coeficientes a aplicar según el tipo de tarifa (1,5282 y 0,7273 respectivamente), CUP/kWh; K: Factor de ajuste de variación del precio del combustible; Q_{cdia} : Consumo de energía en un día, kWh/día.

Por analogía se puede el costo de la energía ahorrada en un año, lo cual es posible a través de la ecuación:

$$C_{año} = (a \cdot K + b) \cdot Q_{cA}, CUP/año \quad (9)$$

Metodología para la estimación del impacto medioambiental de la instalación

Con el objetivo de la implementación de estas máquinas de calor fue necesario conocer la cantidad de emisiones evitadas a la atmósfera. La masa de CO₂ emitida a la atmósfera por concepto de la quema de combustibles fósiles se determinó según Ruisánchez (2018):

$$M_{CO_2} = \iota \cdot Q_{CM}, kg/mes \quad (10)$$

donde:

ι : Índice de emisión, kg/kWh.

Según la Unión Nacional Eléctrica UNE-Cuba (2021), cada kWh producido a nivel de planta de generación, emite a la atmósfera 1,13 kg de CO₂. La masa de combustible fósil necesaria para producir una cantidad determinada de energía en un mes se determinó según:

$$M_{CM} = \gamma \cdot Q_{CM}, kg/mes \quad (11)$$

donde:

γ : Índice de consumo de combustible, kg/kWh .

El valor asumido para el índice de consumo es de 0,262 kg/kWh (ICG-Brasil, 2012; UNE-Cuba, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Valoración del consumo de energía eléctrica de la vaquería 021

En la vaquería 021 básicamente se evidencian las cargas eléctricas estáticas. Los sistemas que poseen carga estática son aquellos en los que su consumo eléctrico no depende de manera significativa del estado de carga de los mismos (Prado, 2008; Encuentra, 2020). Ejemplos de este tipo de sistemas son aquellos que involucran motores eléctricos de baja y mediana potencia. Tal es el caso de los molinos forrajeros eléctricos y las bombas de agua, entre otros. En el caso particular de la vaquería objeto de estudio una parte significativa del consumo eléctrico está asociado al abastecimiento de agua y al procesamiento del alimento animal (molinado del forraje) y humano (obtención y refrigeración de la leche). Por ello es que se puede apreciar la gran variabilidad que tiene el consumo eléctrico de la misma como se muestra en la Figura. 1

A partir del análisis se constató que, durante el 2021, el mayor consumo energético diario se obtuvo en los meses de enero, febrero y abril con valores de 106,141,5y115,9kWh , respectivamente, lo que evidencia que la vaquería 021 es un alto consumidor de energía eléctrica.

Propuesta de un sistema solar fotovoltaico para la vaquería 021

Para la realización de la propuesta de un sistema solar fotovoltaico en áreas de la vaquería 021, se utilizaron los paneles solares comercializados por la empresa cubana COPEXTEL. Los datos técnicos correspondientes se muestran en la Tabla 1.

Además, se seleccionaron las baterías Trojan, cuyos datos técnicos se muestran en la Tabla 2.

* CUP: Peso Cubano (Tasa de cambio: 24 CUP= 1 USD)

Para dicha propuesta también se tuvo en cuenta el inversor que comercializa COPEXTEL, con una potencia 20 % mayor a la demandada por el equipo.

En este caso no se considera el empleo de un regulador de seguimiento del punto de máxima potencia ya que los sistemas fotovoltaicos que lo incluyen, constituyen sistemas que mejoran la eficiencia de la instalación entre 10 y 25 %. El problema fundamental de estos reguladores radica en su elevado costo para instalaciones de pequeño y mediano porte. En el caso de la propuesta, por el volumen de energía a generar requeriría un regulador de gran capacidad con capacidad de seguimiento del punto de máxima potencia, que elevaría el costo total de la instalación al menos en 30 y 40 % más solo por este concepto (Gasquet, 2004; Acevedo, 2016).

Dimensionamiento de las partes del sistema solar fotovoltaico propuesto

Antes de proceder a la determinación del dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico para las áreas de la vaquería 021, se realizó un levantamiento de los medios y equipos existentes en el escenario objeto de estudio, así como el tiempo de operación de los mismos, los que se reflejan en la [Tabla 3](#).

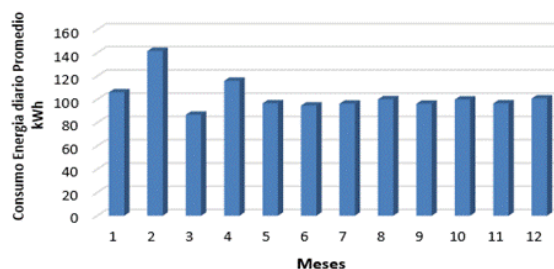


FIGURA 2. Comportamiento del consumo energético diario promedio de la vaquería 021 (2021).

Como se puede apreciar en la [Tabla 3](#), en esta vaquería se consumen diariamente 102,85 kWh de energía eléctrica, elemento que demuestra el alto consumo de este escenario productivo, es válido señalar que solo por concepto de bombeo de agua se consume el 62,9 % de la energía consumida, por lo que se determinó el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico para tres variantes:

- Considerándose el sistema de bombeo actual,
- Sin considerarse el sistema de bombeo actual y,
- Valorándose la introducción de un sistema de bombeo solar PS2-150 C-SJ5-8 Marca LORENTZ.

TABLA 1. Datos técnicos de los paneles solares comercializados por COPEXTEL

| Parámetro | Especificación |
|---|----------------|
| Potencia pico del módulo en condiciones estándar, W | 270 |
| Voltaje máximo del módulo, V | 55,10 |
| Corriente de cortocircuito del módulo, A | 5,30 |
| Corriente unitaria máxima del módulo, A | 4,9 |
| Rendimiento del inversor | 0,9 |
| Rendimiento de los conductores | 1 |
| Rendimiento de las baterías | 0,95 |

TABLA 2. Datos técnicos de las baterías Trojan monoblock propuestas

| Parámetro | Especificación |
|--|----------------|
| Profundidad de Descarga Máxima Estacional, % | 70 |
| Profundidad de Descarga Máxima Diaria, % | 15 |
| Rendimiento | 0.9-0.95 |
| Voltaje, V | 12 |
| Capacidad de corriente, A | 240 |

TABLA 3. Características energéticas de los medios y equipos eléctricos existentes en la vaquería 021

| Medios y equipos eléctricos | Potencia, kW | Tiempo de operación, h | Energía consumida por día, kWh/día |
|------------------------------|--------------|------------------------|------------------------------------|
| Molino forrajero | 5,5 | 1 | 5,5 |
| Bomba de agua | 18,5 | 3,5 | 64,75 |
| Sistema de refrigeración | 4 | 4 | 16 |
| Sistema de ordeño mecanizado | 5 | 3 | 15 |
| Cerca eléctrica | 0,04 | 10 | 0,4 |
| Luminarias | 0,1 | 12 | 1,2 |
| Total | | | 102,85 |

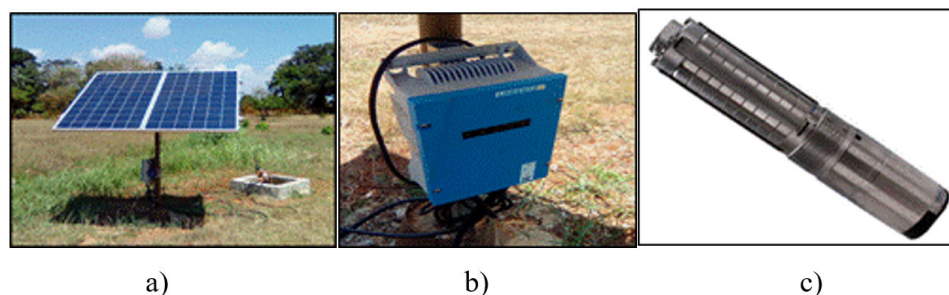


FIGURA 3. Partes componentes del sistema de bombeo solar PS2-150 C-SJ5-8 Marca LORENTZ: a) Paneles fotovoltaicos, b) Controlador PS2-150 y c) bomba sumergible.

En el caso específico de la última variante, este sistema de bombeo solar, está compuesto por: dos paneles solares, un Controlador PS2-150 y una bomba sumergible con carga máxima de 20 m y un gasto máximo de 4,6 m³/h (1,2 L/s, estos elementos se muestran en la [Figura 3 \(a, b y c\)](#)

En la [Tabla 4](#) se resumen los valores de los parámetros del dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico, considerando el sistema de bombeo existente.

Como se puede observar en la [Tabla 4](#), con la utilización de la energía solar fotovoltaica, es posible disminuir los costos por concepto de combustibles convencionales para producir electricidad. Para obtener el costo de la energía eléctrica no consumida a partir del uso de la energía generada a partir de las variantes propuestas es de 241 320,7 CUP/mes

(considerándose el sistema de bombeo actual), 88 917,52 CUP/mes (sin considerarse el sistema de bombeo actual) y 89 535 CUP/mes (Considerándose la introducción del sistema de bombeo solar PS2-150 C-SJ5-8) al mes, respectivamente. Por otro lado, si se considera la producción de leche de la vaquería que asciende a 251,6 L/día y el precio de la leche es equivalente a 20 CUP/L, entonces es posible recaudar 5 032 CUP/día (150 960 CUP/mes), por lo que para cada caso analizado es posible recuperar la inversión en: 1,6 meses al considerarse el sistema de bombeo, 0,6 meses sin considerarse el sistema de bombeo y 0,6 meses con la introducción del sistema de bombeo solar PS2-150 C-SJ5-8.

Sin embargo, el volumen de producción bajo las condiciones actuales y su valor económico, permiten recuperar la inversión en la adquisición del sistema

TABLA 4. Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico para las tres variantes y análisis económico de las propuestas

| Parámetro | Símbolo | Valor |
|---|-------------------|-----------|
| Consumo medio diario de la instalación | L_{mdn}, kWh | 119.95 |
| Consumo medio de corriente diario | $Q_{Ah}, Ah/day$ | 9995.83 |
| Corriente que debe generar el campo fotovoltaico en el mes crítico de radiación solar | $I_{gfv, mpp}, A$ | 1675.80 |
| Considerándose el sistema de bombeo actual | | |
| Total de paneles solares | N_p | 342 |
| Total de módulos fotovoltaicos | N_m | 85 |
| Área requerida | A_r, m^2 | 267 |
| Energía a producir con el sistema fotovoltaico | E_p, kWh | 2567.24 |
| Costo de Inversión | C_{inv}, CUP | 1 048 290 |
| Sin considerarse el sistema de bombeo actual | | |
| Total de paneles solares | N_p | 126 |
| Total de módulos fotovoltaicos | N_m | 32 |
| Área requerida | A_r, m^2 | 99 |
| Energía a producir con el sistema fotovoltaico | E_p, kWh | 945.93 |
| Costo de Inversión | C_{inv}, CUP | 386 255.2 |
| Considerándose el sistema de bombeo solar PS2-150 C-SJ5-8 Marca LORENTZ | | |
| Total de paneles solares | N_p | 128 |
| Total de módulos fotovoltaicos | N_m | 33 |
| Área requerida | A_r, m^2 | 101 |
| Energía a producir con el sistema fotovoltaico | E_p, kWh | 952.50 |
| Costo de Inversión | C_{inv}, CUP | 419 586.6 |

TABLA 5. Resultados del impacto medio ambiental como consecuencia de la instalación propuesta

| Parámetro | Valor estimado |
|--|----------------|
| Energía eléctrica dejada de consumir, kW/día. | 119,95 |
| Energía eléctrica ahorrada, kWh/año. | 43 781,75 |
| Masa de CO ₂ dejada de emitir a la atm, t/año. | 49,47 |
| Masa de combustible fósil para producir electricidad, t/año. | 11,47 |

solar fotovoltaico en un periodo de 0,21 años (considerando el sistema de bombeo actual), 0,23 años (sin considerar el sistema de bombeo actual) y 0,57 años (considerando la adquisición del sistema de bombeo solar PS2-150 C-SJ5-8). Teniendo en cuenta la adquisición del sistema de bombeo solar PS2-150 C-SJ5-8, esta inversión se recupera en 0,23 años.

Si se considera tanto el ahorro de portadores energéticos en forma de combustibles fósiles, como el impacto medioambiental y productivo; se puede afirmar que es viable la instalación de un sistema solar fotovoltaico para satisfacer la demanda de la vaquería 021 de la granja Guayabal.

Análisis del impacto medioambiental de la instalación propuesta

Los sistemas fotovoltaicos al utilizar una fuente de energía limpia para producir energía eléctrica, no consumen ningún tipo de combustible fósil, así, con la [ecuación \(6\)](#) se determinó la energía eléctrica que se dejaría de consumir en un día. Además, con estos resultados es posible a través de la [expresión \(10\)](#) saber la masa de CO₂ dejada de emitir a la atmósfera, quedando reflejado en la [Tabla 5](#).

Como se evidencia en la [Tabla 5](#), por concepto de reducción del combustible fósil requerido para la producción de la energía eléctrica y la masa de CO₂ no emitida al medioambiente se demuestra la factibilidad económica y ambiental de la introducción del sistema fotovoltaico en la vaquería 021.

CONCLUSIONES

- El volumen de producción bajo las condiciones actuales y su valor económico, permiten recuperar la inversión en la adquisición del sistema solar fotovoltaico en un periodo de 0,21 años (considerando el sistema de bombeo actual), 0,23 años (sin considerar el sistema de bombeo actual) y 0,57 años (considerando la adquisición del sistema de bombeo solar PS2-150 C-SJ5-8).
- La instalación propuesta tendría una repercusión positiva sobre el Medio Ambiente, pues con las tres variantes analizadas se obtuvo un ahorro de energía eléctrica no menor a 43 781,75 kWh/año; de modo que, se dejarían de emitir a la atmósfera anualmente al menos 49,47 t de CO₂, y de consumir, como mínimo, 11,47 t de combustible fósil.

- La instalación del sistema solar fotovoltaico es factible tanto energética, económica como ambientalmente, ya que se tendría un ahorro significativo por concepto de energía no consumida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, G.F. de J.: Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Trabajo de Diploma (en opción al título de Tecnólogo en Electrónica), Bogotá, Colombia; publisher: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, 2016.
- ACOSTA, A.; BETANCOURT, J.; BU, A.; FERNÁNDEZ, P.; MOK, L.; MORALES, C.: Estudio sobre la competitividad de la producción lechera cubana, Manuscrito, La Habana, Cuba, FAO 2017, 2017.
- ALONSO, J.: “Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas”, Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma, España., 2011, Disponible en: www.sfe-solar.com.
- BÉRRIZ, L.; ÁLVAREZ, M.: Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares, Editorial Cubasolar, La Habana, 38-52, 2008.
- BÉRRIZ, L.; ÁLVAREZ, W.; PÉREZ, J.; IGLESIAS, M.: Manual de calentadores solares, Ed. Publisher: Ed. Editorial Cubasola, La Habana, Cuba, publisher: Ed. Editorial Cubasolar La Habana, Cuba, 2016, ISBN: 959-7113-49-X.
- BLANCO, D.; FUNES, M.; BOILLAT, S.; MARTÁN, G.J.; FONTE, L.: “Procedimiento integral para contribuir a la transición de fincas agropecuarias a agroenergías sostenibles en Cuba”, Pastos y Forrajes, 37(3): 284-290, 2014, ISSN: 0864-0394.
- BOLAÑOS, M.: “Resolución 66/2021”, Gaceta Oficial de la República de Cuba, 2021, ISSN: 0864-0793, e-ISSN-1682-7511.
- CANTOS, S.J.: Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas, Ed. Ediciones Paraninfo, SA, Madrid, España, 360 p., 2016, ISBN: 84-283-3756-X.
- CANVI CLIMÀTIC: Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), Inst. Barcelona: Oficina Catalana del Canvi climàtic, Barcelona, España, 2011.

- DÍAZ, A.J.L.: Incidencia del período interpartal en la vida reproductiva de vacas lecheras en la unidad “Manuel Fajardo”, Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Tesis de diploma, Holguín, Cuba, publisher: Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias Dpto ..., 2018.
- ENCUENTRA, M.M.: Diseño de una planta de generación solar fotovoltaica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, Tesis de Diploma (en opción al título de Ingeniero en Tecnologías Industriales), Barcelona, España, publisher: Universitat Politècnica de Catalunya, 2020.
- FUNES, M.F.R.: Agricultura con futuro: la alternativa agroecológica para Cuba, Ed. Estación Experimental Indio Hatuey, ISBN: 959-7138-02-6, Universidad de Matanzas ed., Matanzas, Cuba, 176 p., Universidad de Matanzas, 2009, ISBN: 959-7138-02-6.
- GASQUET, H.L.: Conversión de la luz solar en Energía Eléctrica: Manual Teórico y Práctico sobre los sistemas Fotovoltaicos, Ed. Gasquet, México, 2004.
- HERNÁNDEZ, B.Y.; LEÓN, O.N.A.; VALDÉS, P.G.R.; LEDESMA, P.M.L.; MIRABALES, R.P.D.: “Agricultura familiar y seguridad alimentaria en una finca del municipio de Sancti Spíritus”, Pastos y Forrajes, 42(2): 181-188, 2019, ISSN: 0864-0394.
- HERNÁNDEZ, L.: “Sistemas fotovoltaicos: ¿Autónomos o conectados a la red?”, Revista Energía y Tú, (38), 2007.
- ICG-BRASIL: Gases do Efeito Estufa, [en línea], Inst. Instituto do Carbono de Brasil (ICG), 2012, Disponible en: http://www.institutocarbonobrasil.org.br/mudancas.../gases_do_efeito_estuf.
- KAFFMAN, L.: “El boom de la generación fotovoltaica en el mundo”, Revista Electro Industria, : 242, 2021, ISSN: 0718-3445.
- LEÓN, M.J.A.; MOREJÓN, M.Y.; MELCHOR, O.G.C.; ROSABAL, P.L.M.; QUINTANA, A.R.; HERNÁNDEZ, C.G.: “Dimensionamiento de un parque solar fotovoltaico para el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA)”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 30(4): 101-113, 2021, ISSN: 2071-0054.
- MARTÍNEZ, V.A.; RIBOT, E.A.; VILLOCH, C.A.; MONTES DE OCA, N.; REMÓN, D.D.; PONCE, C.P.: “Calidad e inocuidad de la leche cruda en las condiciones actuales de Cuba”, Revista de Salud Animal, 39(1): 51-61, 2017, ISSN: 0253-570X.
- ONEI-CUBA: Capítulo 9: Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, Inst. Oficina nacional de Estadística e Información (ONEI, La Habana, Cuba, Anuario Estadístico de Cuba 2016, 2017.
- PERPIÑÁN, L.O.: Energía solar fotovoltaica, Inst. Creative Commons ebook., España., 192 p., 2020.
- PRADO, C.: Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada, Universidad de Costa Rica, Trabajo de Diploma (en opción al título de Bachiller en Ingeniería Eléctrica), Costa Rica, 2008.
- RUISÁNCHEZ, Y.: Propuesta de instalación de un sistema de calentadores solares de agua en un área de la residencia de la UNAH, Universidad Agraria de La Habana, Trabajo de diploma (en opción al título de Ingeniero Agrícola), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, publisher: Universidad Agraria de La Habana San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2018.
- SÁNCHEZ, J.A.; MARTÍNEZ, D.E.; SÁNTOS, R.; ORTEGA, J.; SÁNCHEZ, P.: Aplicaciones Fotovoltaicas de la Energía Solar en los Sectores Residencial, Servicio e Industrial. Guía para el dimensionamiento y diseño de sistemas fotovoltaicos, Ed. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, publisher: Universidad Nacional Autónoma de México México DF, 2017, ISBN: 5-230-41732-3.
- UNE-CUBA: Tarifas de pago de electricidad, Inst. Ministerio de Energía y Minas, La Habana, Cuba, 2021.

Jenifer Alvarez-Lima, Profesora, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Agronomía, Dpto. Producción Agrícola, Autopista Nacional km 23½, San José de las Lajas, CP: 32700, Mayabeque, Cuba.

Javier A. León-Martínez, Profesor, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, Autopista Nacional km 23½, San José de las Lajas, CP: 32700, Mayabeque, Cuba, e-mail: jleon@unah.edu.cu.

Yanoy Morejón-Mesa, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, Autopista Nacional km 23½, San José de las Lajas, CP: 32700, Mayabeque, Cuba, e-mail: yymm@unah.edu.cu.

Ramón Pelegrín-Rodríguez, Estudiante de Ingeniería Agrícola, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, Autopista Nacional km 23½, San José de las Lajas, CP: 32700, Mayabeque, Cuba, e-mail: yymm@unah.edu.cu.

AUTHOR CONTRIBUTIONS: Conceptualization: J. Alvarez Lima, J. León Martínez, Y. Morejón Mesa. **Data curation:** J. Alvarez Lima, Y. Morejón Mesa. **Formal Analysis:** J. Alvarez Lima, Y. Morejón Mesa, J. León Martínez. **Investigation:** Alvarez Lima, Y. Morejón Mesa, J. León Martínez, R. Pelegrin Rodríguez. **Methodology:** J. Alvarez Lima, Y. Morejón Mesa, J. León Martínez. **Supervision:** J. Alvarez Lima, Y. Morejón Mesa. **Validation:** J. Alvarez Lima, Y. Morejón Mesa, R. Pelegrin Rodríguez. **Writing - original draft:** Alvarez Lima, Y. Morejón Mesa, J. León Martínez, R. Pelegrin Rodríguez. **Writing - review & editing:** J. Alvarez Lima, Y. Morejón Mesa, J. León Martínez

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.