

Sostenibilidad energética basada en la implementación de energías renovables en centros porcinos: caso Granja “El Guayabal”



Energy Sustainability Based on the Implementation of Renewable Energies in Pig Farms: Case Granja “El Guayabal”

<https://cu-id.com/2177/v32n3e05>

[✉]Osney Gerardo Pérez-Acosta^{I*}, [✉]Yanoy Morejón^{II}, [✉]Madeleidy Martínez-Pérez^I,
[✉]Saray Díaz-Barrios^I, [✉]Jesús Suárez Hernández^{III}

^IInstituto de Ciencia Animal San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II}Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{III}Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EPPFIH), Matanzas, Cuba.

RESUMEN: Con el objetivo de establecer los fundamentos que posibiliten determinar la sostenibilidad energética basada en la implementación de Fuentes Renovables de Energía (FRE) en el centro porcino de la granja “El Guayabal”, se realizó la investigación. Se consideraron aspectos como: características del escenario productivo, datos meteorológicos del lugar, demanda de energía y posibles aplicaciones tecnológicas basadas en el uso de las FRE a partir de las cuales se elaboró el diseño de un sistema híbrido con la implementación de estas tecnologías. En el mismo se trabajó el manejo de la biomasa (biogás), energía solar térmica (calentadores solares) y solar fotovoltaica (paneles fotovoltaicos). Se determinó que con la energía eléctrica producida al utilizar biogás, se cubre la demanda de electricidad en 64,84%. El resto de la demanda de electricidad es posible cubrirla con el uso de la energía solar fotovoltaica y solar térmica (20,96 y 14,20%, respectivamente). Al realizar el análisis del impacto ambiental, se evidencia que se deja de emitir a la atmósfera 9,41 Teq de CO₂/año, 7,95 m³/día de metano, y de consumir 4,11 Teq de petróleo/año, además es posible producir 0,13 m³/día de biofertilizantes. Se concluye que la propuesta constituye una alternativa para minimizar los daños al medio ambiente, ahorrar energía convencional, disminuir costos por concepto de electricidad y obtener biofertilizantes que pueden ser comercializados y utilizados en diferentes cultivos, además mejora el esquema energético convencional aprovechándose las FRE.

Palabras clave: fuentes renovables de energía, producción porcina, sistemas híbridos.

ABSTRACT: The present investigation was carried out with the objective of establishing the foundations to determine energy sustainability based on the implementation of Renewable Energy Sources (FRE) in the pig center of "El Guayabal" farm. Aspects such as characteristics of the productive scenario, meteorological data of the place, energy demand and possible technological applications based on the use of the FRE were considered, from which the design of a hybrid system with the implementation of these technologies was elaborated. In it, the management of biomass (biogas), solar thermal energy (solar heaters) and solar photovoltaic (photovoltaic panels) was worked on. It was determined that with the electrical energy produced by using biogas, the demand for electricity is covered by 64.84%. The rest of the electricity demand can be covered with the use of solar photovoltaic and solar thermal energy (20.96 and 14.20%, respectively). When carrying out the analysis of the environmental impact, it was evident that the proposed energy system prevents the emission of 9.41 Teq of CO₂/year, 7.95 m³/day of methane into the atmosphere, and the consumption of 4.11 Teq of oil/year. It is also possible to produce 0.13 m³/day of biofertilizers. It is concluded that the proposal constitutes an alternative to minimize damages to the environment, save conventional energy, reduce costs for electricity and obtain biofertilizers that can be marketed and used in different crops; it also improves the conventional energy scheme taking advantage of the FRE.

Keywords: Renewable Energy Sources, Pig Production, Hybrid Systems.

*Autor para correspondencia: Osney Gerardo Pérez-Acosta, e-mail: osney631@gmail.com

Recibido: 28/12/2022

Aceptado: 24/06/2023

INTRODUCCIÓN

Cuba, para conformar una política energética acorde al desarrollo sostenible, se ha trazado una serie de objetivos para elevar la eficiencia y el desarrollo de las fuentes renovables de energía (FRE). Con su uso, se pueden reducir los consumos energéticos a partir de combustibles fósiles y minimizar el impacto ambiental. El país hasta el 2021 tenía un consumo del 95,2% de combustible fósil y solo el 4,8% era de energía renovable. Por tal razón, tiene propuesto transformar la matriz energética para el año 2030; proyectándose un aumento de hasta el 24% basado en la implementación y aprovechamiento de las FRE, lo que conduciría a una disminución respecto al uso de los combustibles fósiles de hasta el 76% (ONEI-Cuba, 2022).

El país en los últimos años ha incentivado la utilización de las FRE en la ganadería. Entre ellas, la energía solar térmica y fotovoltaica, eólica, el biogás y la gasificación (Morejón-Mesa *et al.*, 2022; Oliva-Merencio y Pereda-Reyes, 2022). Como el aprovechamiento de estas energías es intermitente, los sistemas híbridos de FRE, en cualquiera de sus soluciones o participación, dentro de esquemas integrales de tratamiento ambiental de residuos o contribución energética, constituyen un aporte al Desarrollo sostenible dentro de esta rama agropecuaria (Baena-Morales *et al.*, 2021).

La Universidad Agraria de la Habana (UNAH) posee una unidad pecuaria dentro de sus instalaciones: granja “El Guayabal”. Tiene la misión de contribuir a la formación integral de estudiantes cubanos y de otras nacionalidades, a través de la vinculación directa con el desarrollo comunitario, la docencia, la investigación, la producción y el extensionismo. Además de las actividades productivas, se realizan acciones de docencia e investigación llevadas a cabo por estudiantes, profesores e investigadores, lo cual facilita la creación y aplicación de conocimientos en las diversas áreas de producción y servicios que conforman la granja referida. Tomando en consideración lo anterior, el objetivo del trabajo fue establecer los fundamentos que posibiliten la determinación de la sostenibilidad energética, basada en la implementación de fuentes renovables de energía en la unidad porcina de la granja “El Guayabal”.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de la granja “El Guayabal” de la Universidad Agraria de La Habana (UNAH)

La Granja Universitaria “El Guayabal” se encuentra ubicada en el Consejo Popular Jamaica, perteneciente al municipio San José de las Lajas. Forma parte además, del Complejo Científico-Tecnológico de la provincia Mayabeque. Para el desarrollo de sus actividades, cuenta con un área global de 846,6 ha

donde se desarrollan fundamentalmente programas de producción ganadera con 67% del total de áreas. El programa porcino se concibe con 240 cerdos en crecimiento- ceba por etapa, dos veces al año, con un sistema de alimentación alternativo que utiliza, entre otros, el alimento ensilado cubano como parte de la fracción energética que necesitan los cerdos para su desarrollo, y los piensos secos balanceados, para cubrir la proteína que requieren para su desarrollo. Se calculó el volumen de mezcla excreta y agua según la metodología de Braun (2013), que determinó en naves de metabolismo la producción de heces fecales por categoría y peso del animal y empleó para la limpieza agua a presión.

Evaluación de la instalación porcina basadas en el empleo de las Fuentes Renovables de Energía

Se realizó un estudio para determinar las potencialidades con respecto al uso de las FRE en la unidad porcina y se tomó en consideración los consumos y la disponibilidad energética con que cuentan. Las principales FRE con las que se trabajó fueron la energía solar fotovoltaica y térmica, el biogás, las que se implementarán según la disponibilidad energética existente en el área y las potencialidades de introducción de alguna de estas fuentes. Se propondrá un sistema híbrido para el aprovechamiento de las potencialidades de cada una.

Diagnóstico de la demanda energética

Se realizó un balance energético para determinar el consumo de electricidad en la unidad. Se tomó en consideración el equipamiento presente. Se empleó un Multímetro Profesional de Gancho (Stern) para determinar el consumo por equipo. Se determinó el consumo mensual y anual, así como el importe económico.

Determinación de los parámetros de diseño y construcción del biodigestor

Principales parámetros que se tuvieron en cuenta para el cálculo de una planta de biogás:

1. Volumen del digestor

Se aplicó la fórmula descrita por Campos-Cuní (2011):

$$V_L = (me + ma) \cdot T_r$$

donde: T_r -Tiempo de retención (tiempo que requieren las bacterias para degradar la materia orgánica, me- masa de la excreta, kg; ma- masa del agua, kg. Según Lozano *et al.* (2020) los biodigestores, se utilizan generalmente para tratar sustratos concentrados con alto contenido de sólidos que se degradan con tiempos de retención mayores de 21 días. Se utilizó 40 días ya que se trabaja para cerdos según lo plateado por Guardado-Chacón *et al.* (2017).

2. Volumen total del biodigestor:

Para calcular el volumen total del biodigestor se necesita el Volumen de almacenamiento de gas. Según [Botero y Preston \(1987\)](#) y en base a la experiencia en la operación de biodigestores por [Barrena-Gurbillón et al. \(2019\)](#) y [Ferreira-da Silva et al. \(2022\)](#), el volumen de biogás que se producirá por día será igual al 25% del volumen de mezcla estiércol: agua contenida en el biodigestor, que es el volumen de trabajo (Vt).

3. Carga orgánica volumétrica:

La carga orgánica volumétrica (COV) es el volumen de biomasa degradable específico para cada tipo o mezcla. Se calculó por la siguiente ecuación:

$$COV = \frac{MV}{V} \cdot t$$

donde: MV: masa volátil, kg; V: volumen del biodigestor, m³; t: tiempo, días

Se estimó que el contenido de materia seca (MS) es del 6% y el de materia volátil es de 95% por lo que el cálculo de la materia volátil de la biomasa se calculó como sigue:

$$MV(kg) = Biomasa(t) \cdot MS\% \cdot MV\%$$

4. Cantidad de metano y lodo producido:

Según [FAO \(2011\)](#) dentro del biogás el metano representa entre el 55-70% del volumen del gas producido. En este caso se trabajó con el 60%. Para el cálculo de la producción de lodo, se empleó el 10% del volumen del biodigestor ([Moncayo, 2017](#)).

5. Potencial energético del biogás producido

Según [Moncayo \(2017\)](#) la eficiencia del biogás cuando se emplea para generar energía eléctrica es de 2,2 kWh por cada m³.

Metodología para el uso de la energía solar térmica para el calentamiento de agua

Se utilizaron calentadores de agua en los filtros sanitarios del centro porcino para la higienización de los obreros. La demanda de agua se calculó tomando en consideración que laboran en la unidad 3 trabajadores y según [Bérriz \(2007\)](#) la demanda de agua caliente utilizada por cada uno de ellos en el baño tiene un aproximado de 8 L, en los horarios 8.00 am y 4.00 pm, todos los días. Según [Bérriz y Álvarez \(2008\)](#) se consideró que durante la higienización personal, la temperatura usual es de 32 a 43°C.

Procedimiento para la utilización de los calentadores solares

Se empleó la metodología propuesta por [Kumar et al. \(2019\)](#), la cual sigue los pasos siguientes:

1. Se orientó hacia el sur con ayuda de una brújula, para lo cual se consideró un espacio libre de sombras;
2. Irradiación solar media para la región descrita con anterioridad
3. Temperatura que requiere el agua que se va a utilizar;
4. Se determinó la demanda de agua caliente en la unidad;
5. Se determinó la cantidad de metros cuadrados a utilizar ($A_{\text{área-unitaria}}$);
6. Se calculó la Q_U : Energía útil absorbida por el colector en una hora;
7. Se calculó la eficiencia diaria con los valores de Q_U y H_T para cada hora del día.

Metodología para el uso de la energía solar fotovoltaica (FV)

Con el consumo energético a suplir, se realizó el cálculo para determinar la cantidad de paneles que se requieren. Se empleó la metodología descrita por [Alonso \(2011\)](#) y [Morejón-Mesa et al. \(2022\)](#) para realizar el análisis de la demanda de energía. Para ello fue necesario el conocimiento del total de animales y los consumos promedio de: agua de bebida por animal, electricidad y agua para limpieza y diaria total.

Procedimiento para la determinación de la cantidad de paneles fotovoltaicos a instalar

1. Irradiación solar media para la región. Se asumió un promedio anual de 5,4 kWh/m² que corresponde al mes de menor radiación en la provincia Mayabeque donde se ubica la instalación ([INSMET-Cuba, 2021](#)).
2. Se consideró que el Sistema Electro-energético Nacional (SEN) tiene una eficiencia eléctrica del 87%.
3. Los módulos fotovoltaicos poseen el 16% de eficiencia.
4. Tomándose en consideración los datos (2) y (3) se determinó la eficiencia total de conversión.
5. Se aprovechó o convirtió en energía eléctrica útil (E_e) al tomar en cuenta el valor de (4) y (1).
6. La cantidad de metros cuadrados de módulos ($A_{\text{área-unitaria}}$) que deberá montarse.
7. La potencia del módulo solar fotovoltaico.
8. Cálculo del número de módulos para lograr cubrir la demanda energética según la siguiente ecuación:

$$n = (E_e)/(E_e)u$$

TABLA 1. Producción de excretas según el estado del animal de la unidad porcina granja “El Guayabal”

Categoría	Cantidad de animales	Masa,kg	Producción de estiércol, kg/día	Volumen, L/día	kg/día	L/día o kg/día	kg mezcla /día
					excreta	agua	
Preceba	120	20	0,35	1,40	42	168	210
Ceba	120	60	2,30	7	276	840	1 116
Total	240				318	1 008	1 326

TABLA 2. Consumo de energía eléctrica de la unidad porcina de la granja “El Guayabal”

Equipo	Potencia, W	Cantidad	Tiempo de operación diaria, h/día	Energía, Wh/día
Bomba de agua	5 500	1	5	27 500
Luminaria (cuartos)	40	10	12	4 800
Molino Forrajero	3 500	1	1	3 500
Ducha eléctrica	3 000	1	2,13	6 390
Planta de vitafer	1 120	1	2,50	2 800
TOTAL				61 490

Evaluación económico-ambiental del empleo de Fuentes Renovables de Energía

Para la realización de la evaluación económica, se determinaron los siguientes indicadores: Valor actual neto (VAN), Tasa interna de retorno (TIR), Período de recuperación de la inversión (PRI) y la relación beneficio- costo (B/C). Para la realización de la evaluación ambiental, se determinaron los siguientes indicadores: Toneladas equivalentes de petróleo (Teqp), Toneladas equivalentes de CO₂ dejadas de emitir (Teq_{CO2}), Volumen de metano producido (V_{CH4}) y la cantidad de biofertilizante producido (B_{iop}).

Determinación la sostenibilidad energética en el centro porcino

Se empleó la metodología SAFA según [FAO \(2015\)](#) para la evaluación de la sostenibilidad energética en el centro porcino del Instituto de Ciencia Animal. Se tomaron en consideración las cuatro dimensiones: 1) Buena Gobernanza, 2) Integridad Ambiental, 3) Resiliencia Económica y 4) Bienestar Social. Para la implementación de la metodología se consideraron una serie de criterios cualitativos, delimitados por umbrales zonificados que posibilitaron ponderar el nivel de sostenibilidad del sistema de producción. Se confeccionó un gráfico radial donde se comparó la situación del centro porcino antes y después de la propuesta de inclusión de las FRE.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del área experimental

La [Tabla 1](#) muestra la producción de mezcla excreta y agua por categoría animal que existe en la granja “El Guayabal”. Los volúmenes que se generan justifican el empleo de tratamientos de residuales ya que se le da solución a una problemática y se convierte en un

beneficio porque se genera energía mediante el biogás y la obtención de biofertilizantes líquidos y sólidos.

Resultados del diagnóstico energético del centro porcino objeto de estudio

Después de realizar el balance energético ([Tabla 2](#)), se obtuvo el consumo eléctrico diario de la instalación. La misma cuenta con dos naves de producción donde están presentes cerdos en las categorías preceba y ceba. La bomba de agua se puede emplear tanto para abastecer la unidad como para el riego de las áreas aledañas de la misma. Se proyecta la construcción de una planta de producción de aditivo Vitafert según [Elías y Herrera \(2011\)](#), para la alimentación animal.

Diseño y potencial energético en el centro porcino

El uso del biogás mejora los indicadores económicos de una granja, ya que genera ingresos por el concepto de venta de biofertilizante líquido y sólido. Además, se puede convertir en una fuente de energía, para la cocción de alimentos y para la generación de la electricidad ([Oliva-Merencio y Pereda-Reyes, 2022](#)). Si se toma en cuenta lo anterior, se propone el diseño de un sistema híbrido de FRE con la utilización de los biodigestores, donde se prioriza el tratamiento de residuales para el escenario productivo. Posteriormente, se emplean el resto de las FRE donde se valoran la o las idóneas para el escenario y con el objetivo de suplir la demanda energética en su totalidad y cubrir la intermitencia de cada una de ellas. Lo anterior permite realizar un estudio de sostenibilidad que toma en consideración el impacto económico, ambiental y social (Cisneros-Ramírez *et al.*, 2021; Kantoğlu y Argun, 2023).

Para ello, se valoraron las cantidades de biogás y lodo que se obtienen para la producción de energía y fertilizante según lo reportado por Hermida-García *et al.* (2020). En una segunda fase, se hace una

estimación para determinar el potencial de generación de energía eléctrica con otras fuentes renovables de energía. En las instalaciones agropecuarias se debe priorizar la utilización del biogás teniendo en cuenta las políticas trazadas por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba y por el impacto negativo que tiene el residual si no se trata correctamente. Todo esto permite la implementación en el centro porcino del sistema híbrido y explotar al máximo todos los recursos naturales, sin dañar el medio ambiente.

Dimensionamiento del biodigestor

Para el correcto dimensionamiento se requiere del cálculo de los parámetros reflejados en la [Tabla 3](#). A partir de las determinaciones antes mostradas, se propone la instalación de un biodigestor de cúpula fija. Se tuvo en cuenta el volumen total y se consideró que estos digestores no deben sobrepasar los 97 m³ según [Guardado-Chacón \(2007\)](#).

En la [Tabla 4](#) y la [Figura 1](#) se muestran la propuesta de dimensionamiento del biodigestor a introducir y el diseño, respectivamente. Por los volúmenes de gas producido se plantea el uso de un generador para la obtención de electricidad para suplir una parte de la demanda de la unidad.

La utilización de la energía eléctrica producida por el biogás cubre la demanda de electricidad en 64.84% para el centro porcino. En la [Tabla 5](#) se refleja la valoración del sistema híbrido a emplear según las FRE que mayores potencialidades poseen y con el objetivo de satisfacer la demanda de electricidad en su totalidad.

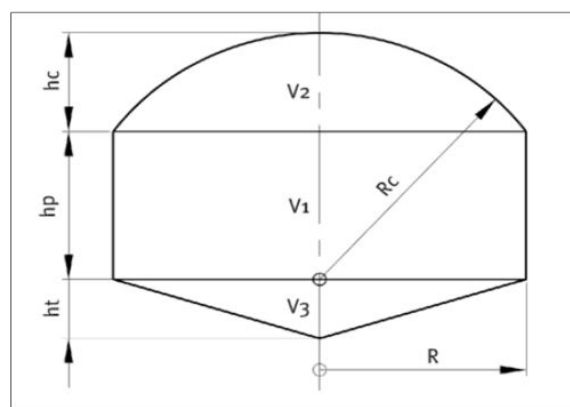


FIGURA 1. Representación gráfica de la tecnología a introducir en la granja “El Guayabal”.

Uso de la energía solar térmica para el calentamiento de agua

A partir del análisis de la [Tabla 5](#), se propone un sistema de calentadores solares de tubos al vacío para el filtro sanitario, debido a los costos y la durabilidad de estas tecnologías para el calentamiento de agua. A pesar de la existencia de un generador, cercano al biodigestor, dadas las características constructivas de la unidad y la ubicación del filtro sanitario en el otro extremo de la instalación, es factible el montaje de calentadores solares de tubos al vacío para que no existan pérdidas de calor. Para ello, es necesario la instalación de un calentador solar de 90 L modelo Lp47-1510-30 ACF ensamblados en Cuba según Pérez-Acosta *et al.* (2017) que suplen la necesidad de 48 L/día de agua caliente. Con ello se garantizaría

TABLA 3. Parámetros calculados para los biodigestores en el escenario productivo

Parámetros	Unidades	Guayabal
Aguas residuales porcinas generadas	m ³ /día	1,33
Volumen del biodigestor	m ³	53,04
Volumen total del biodigestor	m ³	66,30
Cantidad de biogás producido	m ³ /día	13,26
Carga orgánica volumétrica	kgMV/m ³ día	1,42
Cantidad de metano producido	m ³ /día	7,95
Cantidad de lodo producido	t/día	0,13
Energía eléctrica producida	kWh/día	29,17
Energía eléctrica producida en el mes	kWh/mes	875,16
Energía eléctrica producida en el año	kWh/año	9 626,76
Potencia del generador o cogenerador	kW	1,21

TABLA 4. Dimensiones del biodigestor propuesto para la granja “El Guayabal”

Dimensiones lineales	m	Dimensiones cúbicas	m ³
Radio de la cúpula	3,33	Volumen de la cúpula	16,02
Diámetro	5,32	Volumen del cilindro	44,36
Altura de la cúpula	1,33	Volumen del cono base	5,91
Altura del cilindro	2	Volumen total	66,29
Altura del cono base	0,8		

TABLA 5. Valoración de la introducción de las FRE en función de la demanda de energía eléctrica del escenario

Parámetros	Unidades	El Guayabal
Demanda de energía eléctrica	kWh/ día	44,99
Biogás. Energía eléctrica producida	kWh/ día	29,17
Solar Térmica	kWh/ día	6,39
Solar fotovoltaica	kWh/ día	9,43

cubrir 14.20% de la demanda total de energía eléctrica del centro porcino.

Uso de la energía solar fotovoltaica

Después de realizar el estudio y valorar el tipo de FRE que se puede emplear para garantizar toda la demanda de electricidad en el centro porcino, se determinó usar la energía solar fotovoltaica, debido a que la irradiación solar, está por encima de 5 kWh/m² promedio en el día. Se decide no utilizar la energía eólica porque la velocidad del viento es muy baja (oscila entre 1,3 y 2 m/s) y por otro lado existen obstáculos que crean turbulencia, factores que afectan la generación. La utilización de los paneles fotovoltaicos en el la granja “El Guayabal” representa el 20,96% de la demanda total.

A partir de estos resultados y tomando en consideración que se toman los módulos solares fotovoltaico, DSM-250 (Panel Solar Policristalino), ensamblados en Cuba, de 250 W y 1,63 m², se determinó el número de módulos a instalar y la potencia del sistema. Esto se aprecia en la [Tabla 6](#). Se necesitan para cubrir la demanda en su totalidad con energía solar fotovoltaica, para la Granja 8 módulos con una potencia fotovoltaica de 2 kW.

Determinación del impacto económico-ambiental del diseño propuesto

Para el análisis de factibilidad de la inversión en la Granja “El Guayabal”, se calculó el flujo de fondos del proyecto para el período de cinco años. Se consideró una inversión ascendente a 757 000 pesos con un costo adicional de activos totales de 37 850 pesos sumando en total 794 850 pesos.

Los ingresos se estimaron a partir de la producción de abono orgánico que se logra con las capacidades instaladas. La producción se estima en 0,1326 toneladas diarias de abono orgánico que puede tener un precio de 8 500 pesos/t. Con estos supuestos los valores de ingresos anuales se estiman en 371 943 pesos que formarán parte del Estado de Rendimiento Financiero de la entidad.

Los gastos variables son mínimos y cubren los salarios de las personas encargadas de la manipulación y atención del biodigestor, así como otros recursos necesarios entre los que se incluyen los relacionados con la comercialización del producto final. En cuanto a los costos fijos, se determinó una cantidad que permita los mantenimientos anuales del equipamiento. La tasa de depreciación utilizada fue del 5% anual que se encuentra en el rango establecido por la Resolución 701/2015 del Ministerio de Finanzas y Precios (MFP-Cuba, 2015). Se utilizó la tasa impositiva del 35% que es la dispuesta para el pago de impuestos sobre utilidades en el sector empresarial.

En cuanto a las variables de la inversión, el Valor Actual Neto (VAN) es positivo por lo que hace presuponer que la inversión es viable y se puede aceptar. Este criterio se refuerza al calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR) que tiene un valor superior a la tasa de descuento (12%) utilizada en Cuba. Es decir, el VAN continuaría positivo para una tasa que puede llegar hasta el 16%. Se debe aclarar que aún y si la inversión se realizara con financiamiento prestado por el Banco, esta la tasa máxima que utiliza para el financiamiento de inversiones es del 10%.

El período de recuperación de la inversión es de cuatro años, aspecto este muy positivo y que corrobora la factibilidad de realizar la inversión. A estos

TABLA 6. Valoración de la introducción de la energía solar fotovoltaica en función de la demanda de energía eléctrica de la granja “El Guayabal”

Parámetros	Variable y unidad	Guayabal
Eficiencia de conversión	η	0,14
Irradiación solar media	I; kWh/m ²	5,40
Energía eléctrica útil	E _e ; kWh/m ² día	0,75
Consumo energético	E _d ; kWh/día	9,43
Superficie ocupada por los paneles	S _{m²} ; m ²	13,04
Área unitaria	A _{área unitaria} ; m ²	1,63
Potencia del módulo	P; W	250
Número de módulos	N módulo	8

aspectos se debe sumar labores añadidos de la inversión, entre los que se encuentran:

- Se disminuye el consumo de combustible fósil en 4,11 t, con el consiguiente ahorro de 83 994,49 pesos.
- Se deja de gastar 26 835,41 pesos por concepto de consumo de electricidad. Según la tarifa M3-A RESOLUCIÓN 66/2021) GOC-2021-347-EX26 (2021).
- Se dejan de emitir al medio ambiente 9,41 t de CO₂ que en Cuba no tiene todavía valor económico directo para las entidades, pero en el mundo se bonifica a las instituciones que logran disminuir estas emisiones con valores medios aproximados entre 50 y 83,27 USD/t.

Determinación de la sostenibilidad del sistema híbrido de FRE en el centro porcino

Según se refleja en la [Figura 2](#), se demuestra que con la evaluación de los indicadores de sostenibilidad aplicado al centro porcino objeto de estudio, es posible implementar las FRE. Para tomar decisiones, se debe considerar desde el proceso de inversión hasta la explotación de las mismas. Según Collazo-Expósito y Granados-Sánchez, (2020) y [Baena-Morales et al. \(2021\)](#) en el modelo de sostenibilidad se integran tres elementos fundamentales que son: economía, sociedad y medio ambiente.

Con los resultados que se muestran en el gráfico radial ([Figura 2](#)) se evidencia que las soluciones aplicadas en el centro porcino, contribuye a la sostenibilidad del sistema de producción, resolviéndose problemas ambientales al mejorar el impacto negativo al medio, así como producir biogás, electricidad y biofertilizantes, productos que incrementan los ingresos de los esquemas de producción.

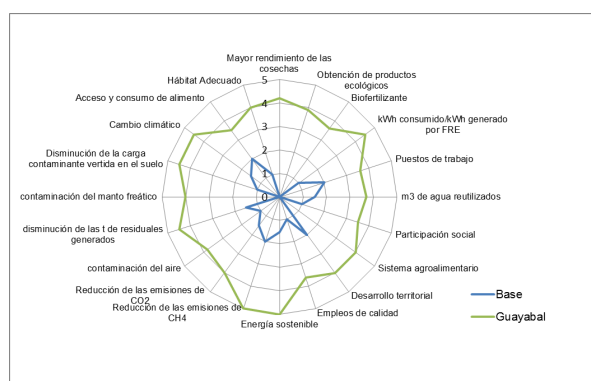


FIGURA 2. Gráfico radial de sostenibilidad obtenido para el caso base y para el mejorado al instalar el sistema híbrido de FRE en el escenario objeto de estudio.

CONCLUSIONES

La propuesta constituye una alternativa sostenible para el ahorro de energía convencional con disminución de costos por este concepto. Se minimizan los daños al medio ambiente y se obtienen biofertilizantes que pueden comercializarse y emplearse en diferentes cultivos. Además, se mejora el esquema energético aprovechándose los sistemas híbridos de FRE.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, J.: “Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas”, *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma*, 2011, Disponible en: www.sfe-solar.com.
- BAENA-MORALES, S.; MERMA-MOLINA, G.; GAVILÁN-MARTÍN, D.: “¿Qué conocen los profesores de Educación Física sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible? Un estudio cualitativo-exploratorio”, *Retos*, 42: 452-463, 2021, ISSN: 1579-1726, e-ISSN: 1988-2041, Publisher: Federacion Espanola de Asociaciones de Docentes de Educacion Fisica (FEADEF), Disponible en: <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/index>.
- BARRENA-GURBILLÓN, M.A.; SALAZAR-SALAZAR, P.; GOSGOT-ÁNGELES, W.; ORDINOLA-RAMÍREZ, C.M.; HUANES-MARIÑOS, M.: “Diseño del biodigestor tipo laguna cubierta para el Establo de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Chachapoyas, Amazonas”, *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 3(2): 63-70, 2019, ISSN: 2520-9760, DOI: <https://doi.org/10.25127/aps.20192.491>.
- BÉRRIZ, L.: “Calentador solar de tubos al vacío: Una opción eficiente y sostenible para el calentamiento de agua”, *Energía y tú*, 39: 3-7, 2007, ISSN: 1028-9925.
- BÉRRIZ, L.; ÁLVAREZ, M.: *Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares*, Ed. Editorial Cubasolar, La Habana, Alejandro Montesinos Larrosa Lourdes Tagle Rodríguez ed., La Habana, Cuba, 2008, ISBN: 978-959-7113-36-2.
- BOTERO, R.; PRESTON, T.: “Low-cost biodigester for production of fuel and fertilizer from manure”, *Mimeograph. CIPAV, Cali, Colombia*, 1-20, 1987, Disponible en: <http://www.produccionanimal.com.ar/Biodigestores/04-biodigestores.pdf>.
- BRAUN, R.: *Eliminación mediante impactos ambientales positivos de estiércoles y purines en las empresas porcinas*, Inst. Estación Experimental Agropecuaria Marcos Suárez, INTA, Producción de biogás, Informe de actualización técnica. EEA Marcos Juárez,(28), Estación Experimental Agropecuaria Marcos Suárez, INTA. Marcos Juárez (Córdoba), Argentina, 5-12 p., 2013.

- ELÍAS, A.; HERRERA, F.: *Registro de patente No. 81/2011*, Oficina Cubana de la Propiedad Industrial, La Habana, Cuba, 2011.
- FAO: *SAFA smallholders APP version. 2015*, [en línea], FAO, 2015, Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/sustainability/docs/SAFASmallApp_Manual-final.pdf.
- FAO, M.: *Manual de biogás. Manual de biogás. Editado por: Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables". Ministerio de Energía, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Global Environment Facility*, Ed. MINENERGIA/PNUD/FAO/GEF. Chile: Editado por Proyecto CHI/00/G32 Chile, 115 p., 2011, ISBN: 978-95-306892-0.
- FERREIRA-DA SILVA, O.; VARGAS-RODRÍGUEZ, P.; DORTA-ARMAIGNAC, A.; FERNÁNDEZ-HUNG, K.; HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, I.; MÉNDEZ-JOCIK, A.: "Uso de energías renovables en procesos agropecuarios para producir alimentos", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 31(1), 2022, ISSN: 2071-0054, Publisher: Universidad Agraria de La Habana.
- GUARDADO-CHACÓN, J.; ALONSO-GONZÁLEZ, M.; ARENCIBIA-ARUCA, A.; PÉREZ-HERNÁNDEZ, M.; SANTAMARINA-GUERRA, J.; SANTOS-ESTÉVEZ, J.; VÁZQUEZ-GÁLVEZ, M.: *El movimiento de Usuarios del biogás en Cuba*, Ed. Editorial Cubasolar, La Habana, Madelaine Vázquez Gálvez y Lourdes Tagle Rodríguez ed., La Habana, Cuba, 156 p., 2017, ISBN: 978-959-7113-50-8.
- INSMET-CUBA: *Reporte del Instituto de Meteorología de la República de Cuba 2021*, [en línea], Inst. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, 2021, Disponible en: <http://www.insmet.cu/>.
- KUMAR, L.; HASANUZZAMAN, M.; RAHIM, N.: "Global advancement of solar thermal energy technologies for industrial process heat and its future prospects: A review", *Energy Conversion and Management*, 195: 885-908, 2019, ISSN: 0196-8904, Publisher: Elsevier, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.081>.
- LOZANO, A.; SÁNCHEZ, C.; ARDILA, J.: "Diseño de un biodigestor de excremento para generación de biogás vía simulación con el software SIMBA®", *Revista Ingeniería y Región*, 24: 75-85, 2020, ISSN: 2216-1325, DOI: <https://doi.org/10.25054/22161325.2779>.
- MONCAYO, G.: *Manual de dimensionamiento y diseño de biodigestores industriales para clima tropical. Biodigestores tropicalizados*, Ed. Editorial Aqualimpia engineering, Maiké Moncayo Hilmer ed., Alemania, 240 p., 2017, ISBN: 0049-581-3890550.
- MOREJÓN-MESA, M.Y.; TORRICO, A.J.C.; MORENO, M.V.; ANDRÉS, A.D.H.: *Fundamentos para la introducción de las fuentes de energía renovables en sistemas agropecuarios*, Ed. Editorial: Instituto Agrario Bolivia, Bolivia, 154 p., 2022, ISBN: 978-9917-9928-0-6.
- OLIVA-MERENCIO, D.; PEREDA-REYES, I.: "Biogás y sostenibilidad en Cuba", *Revista Universidad y Sociedad*, 14(2): 597-609, 2022, ISSN: 2218-3620, Publisher: Editorial "Universo Sur".
- ONEI-CUBA: *Anuario Estadístico de Cuba Enero-Diciembre 2021*, Inst. Oficina Nacional de estadística e información República de Cuba, La Habana, Cuba, 2022.

Osney G. Pérez-Acosta, MSc., Inv., Instituto de Ciencia Animal (ICA), Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: operez@ica.co.cu, osney631@gmail.com.

Yanoy Morejón-Mesa, Dr.C., Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: yymm@unah.edu.cu.

Madeleidy Martínez-Pérez, Dr.C., Inv. Instituto de Ciencia Animal (ICA), Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

Saray Díaz-Barrios, MSc., Inv., Instituto de Ciencia Animal (ICA), Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: sdiaz@ica.co.cu.

Jesús Suárez Hernández, Dr.C., Inv. Titular, Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EPPFIH), Matanzas, Cuba, e-mail: jesus.suarez@ihatuey.cu

The authors of this work declare no conflict of interests.

AUTHOR CONTRIBUTIONS: **Conceptualization:** O. Pérez, Y. Morejón. **Data curation:** O. Pérez. **Formal Analysis:** Y. Morejón. **Investigation:** O. Pérez, M. Martínez, S. Díaz, J. Suárez. **Methodology:** O. Pérez, Y. Morejón, S. Díaz. **Supervision:** Y. Morejón. **Validación:** O. Pérez, Y. Morejón, J. Suárez. **Writing - original draft:** O. Pérez, M. Martínez, J. Suárez. **Writing - review & editing:** O. Pérez, M. Martínez.

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.