

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Evaluación económica de un equipo de bombeo solar para el abastecimiento de agua para el ganado, en Cuba

Economic evaluation of a solar pumping system for water supply to livestock in Cuba

Enmanuel Avila González¹ , Arcadio Ríos Hernández¹ ,
Yanoy Morejón Mesa² , Amaury Rodríguez González¹ ,

¹ Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba. ² Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez", San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

*Autor de correspondencia: ymorejon83@gmail.com

Recibido: 09/10/2022

Aceptado: 23/11/2022

Publicado: 30/12/2022

Cómo citar:

Ávila, E., Ríos, A., Morejón, Y. y Rodríguez, A. (2022). Evaluación económica de un equipo de bombeo solar para el abastecimiento de agua para el ganado, en Cuba. *Ciencias Agropecuarias*, 8(2), 7-22. <https://doi.org/10.36436/24223484.688>

Resumen

En los últimos años, se ha introducido en Cuba diversas bombas solares para potenciar energética y económicamente a varias empresas ganaderas en el abastecimiento de agua; su evaluación permite ver si son viables para estos fines en el país. El presente trabajo se desarrolló en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola durante el año 2020, con el objetivo de determinar la viabilidad económica de un sistema de abastecimiento animal empleando la Bomba Solar Lorentz PS2-150-C-SJ5-8. La metodología consistió en diseñar el sistema de abastecimiento animal, calcular su volumen de bombeo, determinar la cantidad de animales que puede abastecer y evaluarlo económicamente. Los resultados arrojaron una potencia de 0,30 kWp, una altura de 20 m, un caudal de 1,90 m³/h, un volumen de 11,40 m³/día que puede abastecer en cuatro variantes: solo a 42 vacas; o a 507 cerdos; o a 1 267 ovinos; y combinado: a 14 vacas, a 169 cerdos y a 422 ovinos. Económicamente, la variante más atractiva fue la de solo a vacas, con una relación beneficio-costos [B/C] de 2,85 y un tiempo

de recuperación de 0,43 años. Se concluyó que, en la Estación Experimental, la bomba solar se puede utilizar solamente para el abastecimiento de agua al ganado vacuno.

Palabras clave: energías renovables, inversión, costos de explotación, ingresos, rentabilidad.

Abstract

In recent years, various solar pumps have been introduced in Cuba to boost energy and economically several livestock companies in the water supply; their evaluation allows us to see if they are viable for these purposes in the country. The present work was developed at the Experimental Station of the Agricultural Engineering Research Institute with the objective of knowing the economic viability of an animal supply system using the Lorentz PS2-150-CSJ5-8 Solar Pump. The methodology consisted of designing the animal supply system, calculating its pumping potential, determining the number of animals it can supply and evaluating it economically. The results showed a power of 0,30 kWp, a height of 20 m, a flow of 1,90 m³/h, a potential of 11.40 m³/day that can supply in four variants only 42 cows, or 507 pigs, or 1 267 sheep and combined to 14 cows, 169 pigs and 422 sheep; economically, the most attractive variant was that of only cows, with a Benefit-Cost ratio of 2,85 and a recovery time of 0,43 years. It was concluded that at the Experimental Station the solar pump can only be used for water supply to cattle.

Keywords: renewable energy, investment, operating costs, income, profitability.

Introducción

El agua como recurso natural renovable y limitado requiere de planificación para garantizar su preservación, en armonía con el desarrollo económico y social sostenible. Las limitaciones de agua hacen necesaria la introducción de tecnologías que propicien un empleo eficiente de las mismas para su empleo en la agricultura (1, 2), ya que, del agua dulce disponible en el mundo, la agricultura utiliza el 70 % y,

el 30 % de esta se dirige a la producción ganadera (3-5). Además, el bombeo de agua es una de las actividades que requiere de mayor demanda energética, razón por la cual es necesario que se emplee de la forma más eficiente posible (6). En años recientes, los principales problemas que se han vinculado al uso de la energía para el bombeo de agua son a los altos costos, la escasez de fuentes de suministro, la seguridad energética, hídrica y alimentaria (7, 8).

También, desde el punto de vista de los gastos de electricidad —en un contexto más global— se estima que los costos totales de operación en los servicios de agua y alcantarillado en el mundo son de entre el 5 % y el 30 %, e incluso, en algunos casos, pueden llegar a alcanzar un 40 %, según lo exponen Liu (2012) y Ferrer et al. (2017) (9, 10).

Asimismo, Parganiha y Pathak (2016), afirman que, para generar electricidad, existe un uso excesivo de los combustibles fósiles tales como el petróleo, el carbón y el gas, los cuales causan la contaminación de la atmósfera y el efecto invernadero (11). Por lo que el aprovechamiento de las energías renovables para este fin ha crecido mundialmente y de manera importante en los últimos años, pues el aumento de los precios de los combustibles convencionales, así como la lucha contra el cambio climático y la búsqueda de nuevas oportunidades de negocio han sido algunos de los factores que han impulsado este crecimiento. Se estima que a finales de 2019 se alcanzó una capacidad instalada para la generación de electricidad a partir de energías renovables —cerca a los 2537 GW a nivel mundial—, destacando la solar como la más abundante en el mundo, además de ser amistosa con el medioambiente (12-14). La energía solar fotovoltaica es fácil de diseñar, es respetuosa con el medio ambiente, de implementación asequible y muy económica en costos de operación y mantenimiento, la solución solar tiene muchas ventajas programáticas y atrae cada vez más a actores humani-

tarios, así como a comunidades de usuarios y donantes (15, 16).

En la actualidad, los sistemas de bombeo solar de agua son una innovación que permite extraer y transportar este preciado líquido a lugares aislados de las líneas de energía eléctrica. La energía solar ha demostrado ser ideal para elevar tanto el agua que se va a beber, así como alzar los tanques de almacenamiento y mantener el saneamiento, el riego y los abrevaderos de los animales siempre llenos. Las bombas solares o de corriente directa han estado presentes desde el año de 1980 y se han expandido alrededor de todo el mundo desde entonces (17, 18). Del mismo modo, las tecnologías que utilizan energía solar para alimentar eléctricamente a las bombas de agua son cada vez más comunes y ofrecen ventajas competitivas sobre los generadores tradicionales de combustible (19). Por ejemplo, los generadores eléctricos de gasolina y diésel usados para bombeo; según Cambio Energético (2016), suelen estar sometidos a condiciones de trabajo bastante duras, por lo que tienen un costo más alto en mantenimientos y reparaciones que los sistemas de bombeo solar (17).

El desarrollo económico de Cuba establece entre sus prioridades el uso eficiente de la energía, para lo cual, se han elaborado programas que consideran el incremento del empleo de fuentes renovables tales como la energía eólica, hidráulica y solar (20). Por lo que, en el país, se han introducido diversas

bombas solares en la agricultura para el abastecimiento de agua de los animales. Su evaluación es una necesidad que permite la toma de decisiones para su posible introducción en el país. El objetivo del presente trabajo fue determinar, a través de un diseño y simulación, el volumen de bombeo diario de agua y la viabilidad económica de un sistema de abastecimiento animal, empleando la Bomba Solar Lorentz PS2-150-C-SJ5-8.

Materiales y métodos

Este trabajo se realizó en la Unidad Científico Técnica del IAgriC, en el poblado de Pulido, municipio Alquizar, con coordenadas 22°46' 49,2" de Latitud Norte y los 82° 36' 06,69" de Longitud Oeste.

Materiales para el trabajo de campo

Referente al equipo de bombeo solar que se seleccionó para realizar el análisis de la relación beneficio-costos, a través del diseño del sistema de abastecimiento de agua para los

ganados bovino, ovino y porcícola, como se muestra en la Figura 1, la bomba Lorentz modelo PS2- 150 C-SJ5-8 —que se muestra más adelante en la Figura 2—, fue la seleccionada y se caracterizó por tener una potencia nominal de 0,30 kW, que alcanza una carga máxima de 20 m.c.a, un caudal máximo de 4,60 m³/h y una eficiencia del 92 %. Además de lo anterior, tiene un regulador de voltaje PS2- 150 con 0,30 kW de potencia, alimentado energéticamente por dos paneles solares Sharp de 0,28 kW cada uno, conectados en paralelo.

Según las características del equipo, es un sistema de baja potencia que consta de un generador fotovoltaico, compuesto por dos paneles fotovoltaicos —como se observa en la Figura 1—, marca Sharp, cada uno con un área de 1,66 m² (1,66 m largo x 1 m ancho) que fueron interconectados en paralelo para conformar una unidad generadora de corriente continua [cc]; los parámetros técnicos de los mismos se muestran en la Tabla 1.



Figura 1. Ganados bovino, ovino y porcino (de izquierda a derecha) en la Unidad Científico Técnica del IAgriC

Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. *Parámetros técnicos de los paneles solares marca Sharp*

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Potencia Máxima [P _{máx}]	W	275
Voltaje de circuito abierto [V _{oc}]	V	38,50
Corriente de cortocircuito [I _{sc}]	A	9,38
Voltaje en el punto de Potencia Máxima [V _{mpp}]	V	31,40
Corriente en el punto de Potencia Máxima [I _{mpp}]	A	8,76

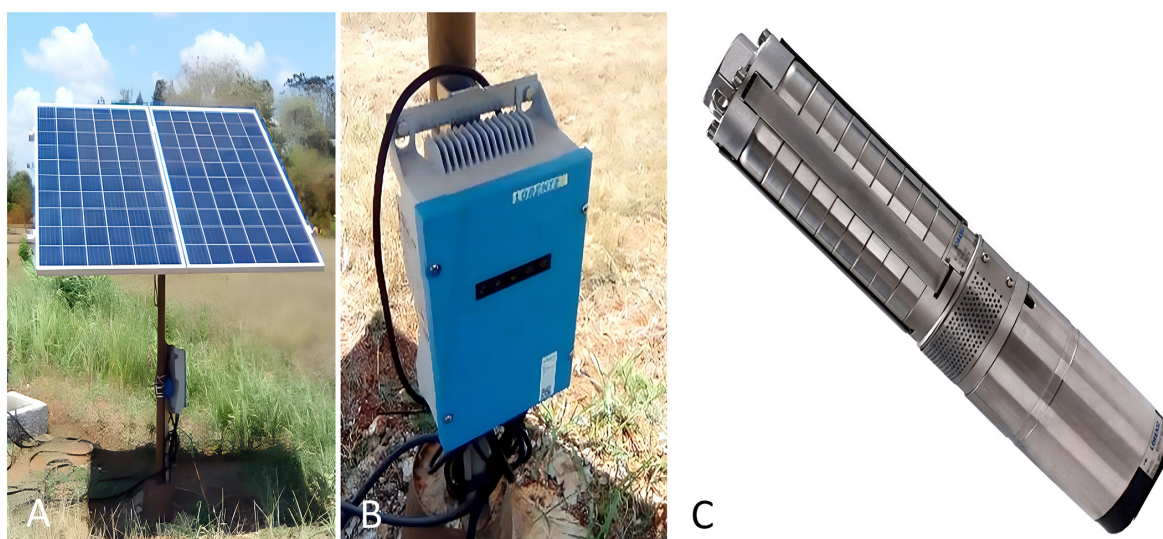
Condiciones estándar de prueba: Irradiación = 1 000 W/m², AM = 1,5 y la T = 25 °C.

Fuente: ENF Solar - Empresas y Productos de la Industria de la Energía Solar (21).

En la Figura 2 se muestran las partes que componen el equipo de bombeo solar de la Bomba Solar Lorentz PS2-150 C-SJ5-8.

En cuanto a los animales a los que se les va a abastecer de agua a través del sistema de bom-

beo solar, la Estación Experimental de Pulido cuenta con un grupo de animales pertenecientes a los ganados bovino, ovino y porcino, los cuales se abastecieron mediante un esquema de bombeo solar con tanque de reserva, como se muestra en la Figura 3.


Figura 2. *Equipo de bombeo solar Lorentz modelo PS2- 150 C-SJ5-8*

Fuente: Irena (14).

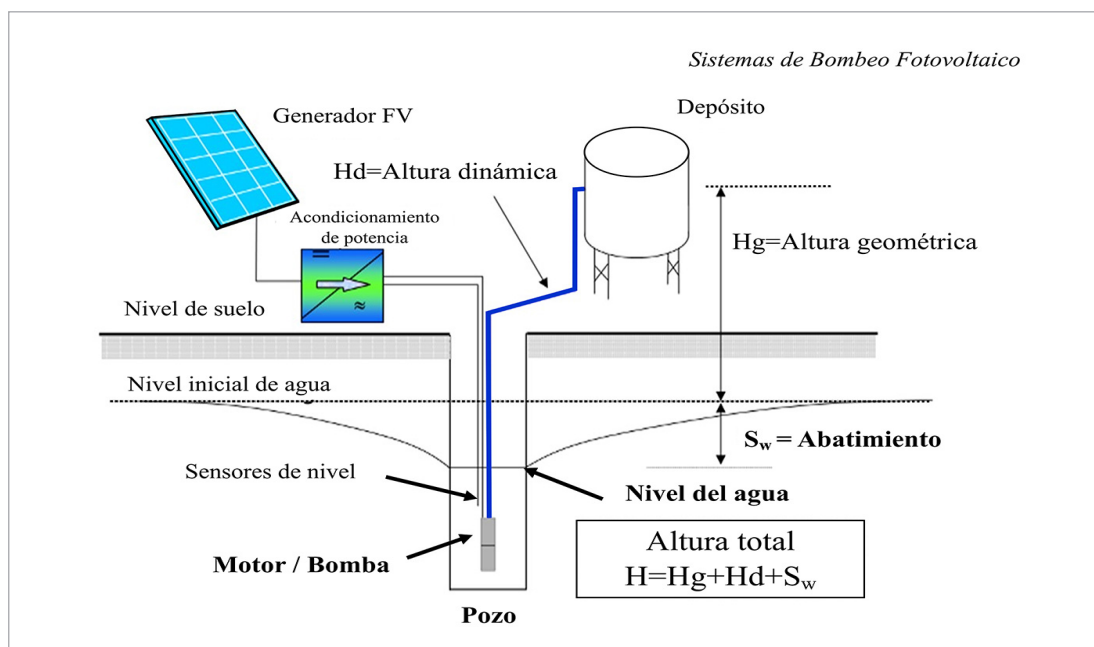


Figura 3. Esquema para el equipo de bombeo solar con tanque de reserva

Fuente: elaboración propia.

Metodología en el diseño del sistema de abastecimiento animal

Para diseñar el sistema de abastecimiento de agua animal, primero se planteó el esquema

de diseño del Sistema de Bombeo Solar + Depósitos de Almacenamiento de agua + Aplicación de Abastecimiento Animal, en este se definieron cada uno de los componentes que los forman, como se muestra en la Figura 4.

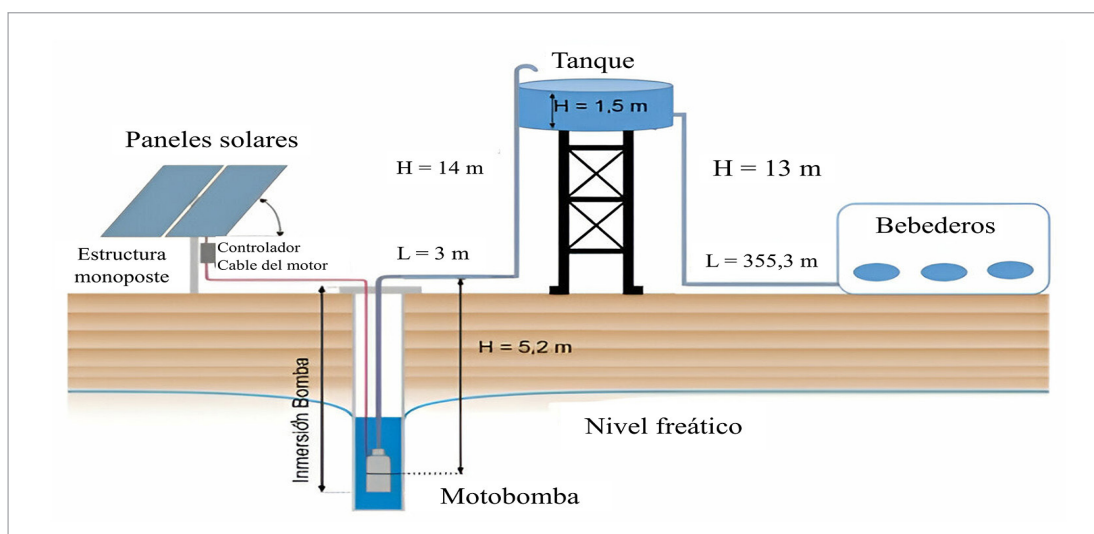


Figura 4. Esquema del equipo de bombeo solar con tanque y bebederos para el ganado

Fuente: elaboración propia.

Luego de lo anterior, se procedió al cálculo de la altura hidráulica de bombeo del sistema, que se refiere a la presión efectiva que debe vencer la bomba, el cual se realiza a través de la expresión matemática 1 (ver ecuación 1) establecida por Alonso (2010) (22):

$$H_{\text{Total}} = H_g + H_d + S_w \quad (1)$$

Donde H_{Total} es la altura total en m; H_g es la altura geométrica en m; H_d es la altura dinámica en m; S_w es el abatimiento en m.

En un sistema de bombeo, la altura geométrica es la altura física a la que debe bombearse el agua para alcanzar los puntos de consumo. La altura geodésica es la distancia vertical entre la bomba y el punto de agua o entre el punto de suministro y la aspiración de la bomba.

La altura estática o geométrica (H_g) es la distancia geométrica desde el nivel del agua en el pozo, hasta el punto más elevado que debe bombearse el agua.

Pérdidas de Cargas

El roce que se produce al interior de las tuberías, producto del paso del agua, se conoce

como pérdidas de carga. Hay que considerar que a mayor velocidad del agua y menor diámetro de tubería es mayor el roce, es decir reduce la energía del agua, la cual es entregada por la bomba.

Para el cálculo de pérdidas de cargas se utilizará la fórmula 2 de Hazen-Williams (ver ecuación 2), debido que es aplicable a diferentes tipos de tuberías:

$$hf = (10,667 / D^{4,871}) (Q / C)^{1,852} * L \quad (2)$$

Dónde Q es el caudal expresado en m³/s; D es el diámetro interior de la tubería en m; L es la longitud total de tubería en m; C es la constante que depende del material de la tubería (Tabla 2); hf es la pérdida de carga en metros de columna de agua [m.c.a.]

Pérdidas Singulares

Las pérdidas singulares totales del sistema es la suma de todas las pérdidas singulares que se encuentran en la línea de la tubería, por ejemplo, codos, válvula, Te, etc. (ver ecuación 3).

Tabla 2. Constante para diferentes materiales de tuberías

Material	Constante C	Material	Constante C
PVC	150	Acero nuevo	120
PE	150	Acero usado	110
Fibrocemento140	140	Fundición nueva	100

Fuente: Tecnología y Materiales Sustentables [TMS] | Paneles solares y Bombas Solares (23).

$$h_s = \sum (K / 2g) (4Q / \pi D^2)^2 \quad (3)$$

Donde K es la constante del accesorio (Tabla 3); Q es el caudal expresado en m³/s; g en la constante de la gravedad equivalente a 9,81 m/s² y D es el Diámetro interior del accesorio expresado en m.

Después de calculada la carga total, se determinó el caudal al que trabaja la bomba solar a partir de la potencia calculada en la evaluación del sistema de bombeo solar.

Método de cálculo del volumen de bombeo de agua diario y la determinación de la cantidad de animales

Para calcular el volumen de bombeo de agua diario (V_B) de la bomba solar Lorentz, dado en m³/día, se empleó la expresión número 4 (ver ecuación 4), donde Q es el caudal de la bomba para la carga correspondiente, dada en m³/h; y el tiempo de bombeo (T_B) es de 6 horas diarias. Para determinar la cantidad de animales a los que se les puede suministrar agua con el volumen de bombeo, se utilizó la expresión

número 5 (ver ecuación 5), en la que, según las *Normas de Abasto a la ganadería*, en la Gaceta Oficial de la República de Cuba del año 2020, el consumo de agua diario (NC) para las vacas, los cerdos y los ovinos es de 0,180; 0,015 y 0,006 m³/día, respectivamente, y (α) es el coeficiente de seguridad de la reserva de agua, que es 1,50 (24).

$$V_B = Q * T_B \quad (4)$$

$$CA = V_B / (NC * \alpha) \quad (5)$$

Metodología económica

Los indicadores económicos utilizados en las ecuaciones 6, 7, 8 y 9 (ver ecuaciones 6-9) serán determinados a partir de las relaciones utilizadas por Martínez y Cisneros (2016) (25):

$$UNAI = Bbt - Ct \quad (6)$$

$$UNDI = UNAI * (100 - I)/100 \quad (7)$$

$$B/C = Bbt / Ct \quad (8)$$

$$TR = Inv. / UNDI \quad (9)$$

Tabla 3. Constante K de los accesorios

Accesorios	Constante K	Accesorios	Constante K
Codo 90°	0,90	Válvula Pie	2,50
Te sin reducción	0,60	Curva 180°	2,20
Codo 45°	0,42	Codo cuadrado	1,80
Te con reducción ½	0,90	Contracción d/D-¼	0,42
Codo 90° suave	0,75	Contracción d/D-½	0,32
Curva 90°	0,60	Contracción d/D-¾	0,19

Fuente: Tecnología y Materiales Sustentables [TMS] | Paneles solares y Bombas Solares (23).

Donde UNAI son las Utilidades Netas Antes de Impuesto, expresada en CUP; UNDI son las Utilidades Netas Después de Impuesto, dadas en CUP; Bbt son los Ingresos brutos por venta de productos agrícolas, dados en CUP; Ct son los Costos totales de explotación del bombeo solar para abastecimiento de agua a los animales ($SBSFV + \text{Abastecimiento animal}$), dado en CUP; I es el Impuesto por utilidades (5 %); e Inv. es la Inversión inicial total.

Resultados y discusión

Resultados del diseño del sistema del abastecimiento animal

Para el diseño del sistema de abastecimiento de agua animal con la bomba solar Lorentz modelo PS2-150 C-SJ5-8, se tuvo en cuenta las características principales que brinda el fabricante, dentro de las cuales se tiene que, el conjunto del sistema está integrado por dos paneles solares, un controlador, la bomba y los sensores de seguridad. Dicha bomba solar fue diseñada para aplicaciones de abastecimiento de agua potable, abrevaderos o riego; es sumergible, se emplea en pozos de 4", la altura a la que transporta el agua es de hasta 20 m y su caudal máximo es de hasta 4,60 m³/h. Ésta se ubicó en la Estación Experimental del IAgriC con el objetivo de mejorar las condiciones de abastecimiento de agua animal a partir de la energía solar fotovoltaica, donde se añadieron al diseño tuberías de PE PN4 (40 mm) y PEAD (63 mm), depósitos de agua con su torre de elevación y los bebederos de las

instalaciones agropecuarias de bovinos, porcinos y ovinos y luego, se procedió al cálculo de los elementos del sistema:

Para determinar la potencia a la que debe trabajar la bomba del sistema se consideró la del arreglo Solar Fotovoltaico, que es de 550 Wp, ya que los paneles solares son de 275 Wp y están conectados en paralelo. Además, se tuvo en cuenta que, según Flores y Domínguez (2017), el rendimiento de la instalación solar fotovoltaica para las condiciones de campo es de un 60 %, por lo que la potencia real estimada se aproxima a 300 Wp (0,30 kWp) en su explotación (26).

La altura de bombeo que se seleccionó fue la de 20 m, ya que la bomba tiene que vencer una altura total de 19,40 m.c.a. en tuberías de PE PN4 con 40 mm de diámetro, para llenar los depósitos del sistema de abastecimiento animal.

Una vez calculados la potencia y la altura total de bombeo, se procedió a plotear el valor del gasto dado por el fabricante en la Figura 2, correspondiente a la potencia de 0,30 kW y a la altura de 20 m, resultando 1,90 m³/h (0,527 l/s).

Resultado del cálculo del volumen de bombeo

De este modo, si el horario solar pico promedio de la Estación Experimental del IAgriC es de 6 horas, entonces el volumen de bombeo diario, en el que se pueden llenar los depósi-

tos, es de 11,40 m³/día. Por tanto, si se tiene en cuenta reservar la tercera parte de éste como medida de seguridad, entonces la capacidad real de abastecimiento de agua para los animales es de 7,60 m³/día.

Gracias a la gravedad, el agua que se encuentra en los depósitos desciende con un caudal de 7,20 m³/día (2 l/s), a través de una tubería de PEAD, con 63 mm de diámetro, a una altura de 13 m y una longitud de 355,30 m, con solo 5,14 m.c.a. de pérdidas por fricción, restándole 7,86 m.c.a. para la distribución del agua en los bebederos.

Resultado de la determinación de la cantidad de animales

En el cálculo de la cantidad de animales a los que se les puede abastecer con 7,60 m³/día, se consideraron 4 variantes o grupos de animales, donde el primero es solo vacas de ordeño, el segundo es solo cerdo en etapa de ceba, el tercero solo ovino en etapa de ceba y una cuarta variante que está compuesta por vacas, cerdos y ovinos. En la Tabla 4 se muestran los resultados.

Resultados de la evaluación económica del sistema del abastecimiento animal con el bombeo solar fotovoltaico

Para la evaluación económica del sistema de abastecimiento animal con la bomba solar Lorentz modelo PS2-150 C-SJ5-8, se tuvo en cuenta que el pozo de la bomba y las instalaciones agropecuarias ya estaban construidas, por lo que los costos de estas no se tuvieron en cuenta en los costos de inversión inicial del sistema, pues fueron pagadas en años anteriores.

Para obtener los resultados económicos del sistema de bombeo solar, dígame análisis B/C y Tiempo de Recuperación de la inversión [TR], fue necesario conocer el monto total de la inversión inicial del sistema, los Costos de explotación y los ingresos obtenidos a partir de las condiciones de producción ganadera.

En cuanto a la inversión inicial [Inv.] del sistema, fue determinada según las partidas y procedimientos que se encuentran en la Tabla 5.

Tabla 4. Resultados de la cantidad de animales que se pueden abastecer con 7,60 m³/día

Carga (m)	Volumen de bombeo (m ³ /día)	Cantidad de animales					
		Vacas (Lactantes)	Cerdos (Ceba)	Ovino (Ceba)	Vacas-Cerdos-Ovino (Lactante-Ceba-Ceba)		
20	11,40	42	507	1 267	14	169	422

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Partidas y procedimientos para el cálculo de la Inversión inicial total del sistema de abastecimiento de agua a los animales de la Estación Experimental

Partidas	Procedimientos
Inversión del Sistema de bombeo solar Lorentz PS2-150 C-SJ5-8	El precio del equipo fue de 2 019,00 €, se convirtió a USD por la tasa de cambio de la fecha de compra (1,00 € = 1,12 USD) y, asimismo, se convirtió a CUP (1,00 USD = 24 CUP); la inversión inicial del equipo fue de 54 271 CUP.
Inversión en la tubería de agua (desde la bomba hasta los depósitos de agua)	El costo de la tubería de PE PN4 de 40 mm (1,82 USD/m) x la longitud de la tubería (22,20 m) x 24 CUP (equivalente a 1 USD)
Inversión en la tubería de agua (desde los depósitos hasta los bebederos)	El costo de la tubería de PEAD de 63 mm (1,82 USD/m) x la longitud de la tubería (355,30 m) x 24 CUP (equivalente a 1 USD)
Depósitos de agua	Cantidad de depósitos de agua de 2 100 l (5) x Precio de los depósitos (2 800 CUP)*
Torre de los depósitos de agua	Precio total de los depósitos x coeficiente (1,30).
Costos por instalación del sistema de bombeo solar (Inst.)	Se estimó como un 7 % de la inversión inicial (Inv.) dado en CUP.
*Precios según Juventud Rebelde (2016)	

Fuente: elaboración propia.

Para obtener los costos totales de explotación fue necesario determinar cada uno de los costos que lo integran, dígame los costos por mantenimiento y operación del sistema (C_{MO}), los costos por depreciación del equipo (C_D), los costos de bombeo de agua de bebida para los animales (C_B), los costos del pago salarial a los obreros agropecuarios (C_S), los cos-

tos de alimentación de los animales (C_A), los costos de bombeo de agua para la higienización de los animales y las instalaciones agropecuarias (C_H) y los costos para garantizar la sanidad animal y la atención veterinaria (C_V). Los costos de explotación fueron determinados en CUP, a partir de las siguientes partidas y procedimientos en la Tabla 6.

Tabla 6. Partidas y procedimientos para el cálculo de los costos de explotación

Partidas	Procedimientos
Costos por mantenimiento y operación del sistema	Se calculó a partir del 5 % del salario del obrero encargado de esta tarea (4 410 CUP) x 12 meses.
Costos por depreciación del sistema de abastecimiento	Valor de los activos (5 127,48 CUP) / tiempo de vida útil del activo (20 años).
Costos de bombeo de agua de bebida para los animales	Las necesidades diarias de agua de los animales (11,40 m ³ /día) x 365 días x la tarifa de bombeo de agua (7 CUP/m ³).
Costos del pago salarial a los obreros agropecuarios	Salarios de los obreros (2 660 CUP/mes) x cantidad de obreros agropecuarios x 12 meses.
Costos de alimentación de los animales	Consumo total de alimento de los cerdos hasta el momento del sacrificio, con 90 kg de PV (263,84 kg de pienso*) x cantidad de animales (27 cerdos) x precio del pienso (3 CUP/kg). El pastoreo de los ganados vacuno y ovino es libre en el campo, a dichos campos de pastoreo no se les aplica riego ni fertilización, por lo que su costo es 0.
Costos de bombeo de agua para la higienización de los animales y las instalaciones agropecuarias	Cantidad de agua empleada en limpieza (6 m ³ /día) x 365 días x la tarifa de bombeo de agua (7 CUP/m ³).
Costos para garantizar la sanidad animal y la atención veterinaria Cantidad de cabezas de ganado x costo anual estimado de atenciones veterinarias.	
*Según el Manual de Procedimientos Técnicos para la Crianza Porcina (IIP, 2015)	

Fuente: elaboración propia.

Los ingresos monetarios de la producción de leche de vaca, carne de cerdo y carne de carnero fueron determinados según las siguientes partidas y procedimientos de la Tabla 7.

Tabla 7. Partidas y procedimientos para el cálculo de los ingresos monetarios

Partidas	Procedimientos
Leche de vaca	Cantidad de vacas en producción x producción de leche (6 l/día) x 365 días x precio de la leche (4,50 CUP/L _{Leche}) ¹ .
Carne de cerdo	Cerdos con 90 kg de PV para sacrificio x peso de la canal (63 kg) x precio de la carne (22,72 CUP/kg) ² .
Carne de ovino	Cantidad de ovinos x peso vivo (45 kg) x Porcentaje de la canal (45 %) x precio de la carne (29,54 CUP/kg) ³ .

¹MFP (2021). ²Directorio cubano (2021). ³El Estado como tal (2021).

Fuente: elaboración propia.

Por lo que, según los resultados de la Inversión inicial, los Costos de Explotación y los Ingresos monetarios de la producción, se pueden obtener los valores de UNDI, la relación B-C y el Tiempo de recuperación de la Inversión, los cuales se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados de los indicadores económicos del sistema de abastecimiento animal

Variantes	Inversión (CUP)	Costos Totales (CUP)	Ingresos (CUP)	UNAI (CUP)	UNDI (CUP)	B/C	TR (Años)
Vacas	109 728	145 260	413 910	268 650	255 217	2,85	0,43
Cerdos	109 728	650 427	725 700	75 272	71 509	1,12	1,53
Ovinos	109 728	513 740	757 900	244 160	231 952	1,48	0,47
Vacas-Cerdos-Ovinos 109 728		404 069	632 304	228 234	216 823	1,56	0,51

Fuente: elaboración propia.

Por lo que puede observarse en la Tabla 8, todas las variantes de abastecimiento de agua animal resultaron ser rentables con relaciones de B/C y TR de la inversión diferentes entre sí,

donde se distingue la variante que es solo de abasto a las vacas como la más atractiva y la de abasto a los cerdos como la menos atractiva.

Se recomienda utilizar en la Estación Experimental del IAgriC, la bomba solar Lorentz PS2-150-C-SJ5-8 para el abastecimiento de agua preferentemente al ganado vacuno y a la combinación de vacas, cerdos y ovinos por ser los de mayor relación B/C.

Conclusiones

En el diseño del sistema de abastecimiento animal la potencia fue de 0,30 kWp; la altura total de bombeo fue de 20 m; y el caudal determinado fue de 1,90 m³/h (0,527 l/s). El volumen de bombeo diario fue de 11,40 m³/día y la capacidad real de abastecimiento fue de 7,60 m³/día.

En el diseño, con el volumen de 11,40·m³/día, se puede abastecer en la variante de solo vacas a 42; en la variante de solo cerdos a 507; en la de solo ovino a 1 267; y en la variante de combinación, a 14 vacas, 169 cerdos y 422 ovinos.

En la evaluación económica del sistema de abastecimiento, la variante más atractiva es la de solo a vacas, con una relación B/C de 2,85 y un tiempo de recuperación de 0,43 años. La variante menos atractiva fue la de solo a cerdos, con una relación B/C de 1,12 y un tiempo de recuperación de 1,53 años.

Referencias

1. Cruz D. Estudio del ahorro mediante bombeo solar, [tesis de maestría, digital]. [Andalucía]: unia; 2011. 78 p. Tesis de maestría Universidad Internacional de Andalucía, España. Disponible en: https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/1807/0126_Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y
2. Mola B, Bonet C, Rodríguez D, Guerrero P, Avilés G, Martínez C. Tecnologías para el uso eficiente de los recursos hídricos en fincas ganaderas. IAgriC. 2021 jul.-sept.;11(3):61-66. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586267422009/html/>
3. Rogério A, Brown O, Mujica A, Mata C, Osorio I. Riego por goteo con energía solar para el tomate en Cavaco, Benguela, Angola. Rev Cie Téc Agr [en línea]. 2015 abr.-jun.;24(2):11-17. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93234170002>
4. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [fao]. World Livestock. Transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals. Rome: fao; 2018. DOI: <https://doi.org/10.4060/ca1201en>.
5. Publitec.com [Internet]. Argentina: Ganadería y manejo sustentable del agua [actualizado 2022 ag. 30; citado 2023 en. 8]. Disponible en: <https://www.publitec.com/wp-content/uploads/GANADERIA-Y-MANEJO-SUSTENTABLE.pdf>
6. Pérez D, Vázquez A, Pérez OG, Pérez T, Hernández A. Estudio energético del sistema de bombeo en el Instituto de Ciencia Animal, Cuba. Rev Cie Téc Agr [en línea]. 2016 sep.;25(3):65-71. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.15663.94886>.
7. Bhattacharyya SC. Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance. Londres: Springer-Verlag. 2011. Disponible en: https://nibmehub.com/opac-service/pdf/read/Energy%20Economics%20_%20concepts-%20issues-%20markets%20and%20governance.pdf

8. Ferro G, Lentini E. Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado. Serie Recursos Naturales e Infraestructura. cepal. 2015 en.;(170):7-67. issn 1680-9017. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/69f0e-ffb-45e4-4fbb-8f71-0566b2ccabb8/content>
9. Liu F, Ouedraogo A, Manghee S, Danilenko A. A Primer on Energy Efficiency for Municipal Water and Wastewater Utilities [reporte técnico]. Washington, D.C.: Banco Internacional de Reconstrucción y Desarrollo / Grupo del Banco Mundial, 2012. 62 p. Preparado para el Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético (esmap). Disponible en: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/256321468331014545/pdf/682800ESMA-POWPOWWUOTR0010120Resized.pdf>
10. Ferrer J, Aguado D, Barat R, Serralta J, Lapuente E. Huella energética en el ciclo integral del agua en la comunidad de Madrid. [Informe final Fundación Canal]. iiaa. Universitat Politècnica de València, 2017. 6 p.
11. Parganiha A, Pathak R. Implementation of Efficient Energy Consumption on Photovoltaic Cell Using matlab Programming. IRJET. 2016 ag.8;3:770-774. Disponible en: <https://www.irjet.net/archives/V3/i8/IRJET-V3I8140.pdf>
12. REN21. Energías Renovables 2016. Reporte de la situación mundial. REN21. Red de Políticas en Energía Renovable para el siglo 21. 2016. 31 p. Disponible en: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21_GSR2016_Key-Findings_sp_05.pdf
13. Rodríguez JS, Espinoza E, Rosenbuch J, Ortega HO, Martínez M, Cedano KG, et al. La Industria Solar Fotovoltaica y Fototérmica en México. [Primera Edición]. Ciudad de México: ProMéxico, Cooperación Alemana. 2017. 23-26 p. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428621/La_industria_solar_fv_y_ft_en_M_xico-compressed.pdf
14. Irena. Renewable capacity statistics. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency [Irena]. 2020. 50 p. Disponible en: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2020.pdf
15. Chilundo RJ, Mahanjane US, Neves D. Design and performance of photovoltaic water pumping systems: comprehensive review towards a renewable strategy for Mozambique. JPEE. 2018 jul.;6(7):32-63. DOI: <https://10.4236/jpee.2018.67003>
16. Evain C, Lapègue J. Bombeo Solar. Pautas para el diseño del sistema eléctrico en la instalación de bombas solares. París: ACF-IN. 2020. 37 p. Disponible en: <https://thesolarhub.org/wp-content/uploads/2020/10/2020-ACF-Bombeo-Solar-BD-SP.pdf>
17. Cambio Energético [Internet]. Bombeo solar, ventajas e inconvenientes. 2016 my. 9. Disponible en: <https://www.cambioenergetico.com/blog/bombeo-solar-ventajas/>
18. Soletto V. Gecko Solar. [Internet]. Las ventajas de un sistema de bombeo de agua solar. 2023 dic. 16. Disponible en: <https://geckosolarmexico.mx/bomba-de-agua-sumergible/>
19. Ávila-González E, Ríos-Hernández A, Morejón-Mesa Y, Campos-Cuní B. Evolución histórica de las fuentes energéticas empleadas en el abasto de agua y riego agrícolas. IAgriC, 2021 en.-mzo.;11(1):47-57. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586269368008/html/>
20. Bonet PC, Abad CA, Guerrero PP, Rodríguez CD, Mola FB, Avilés MG. Propuesta de estrategia energética para abasto de agua en la ganadería. Ing. agríc. (La Habana). 2019 jul.-sept.;9(3):23-28. ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761. Disponible en: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgriC/article/download/1139/1910/4623>
21. ENF Solar - Empresas y Productos de la Industria de la Energía Solar. Directorio de Paneles / ND-AC275 Sharp Energy Solutions Corporation (sesj). [Online].; 2021 [citado 2021 en. 3]. Disponible en: <https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/42762>.

22. Alonso M, Chenlo F. Sistemas de bombeo fotovoltaico, Máster en Energías y Mercado Energético, Energía Solar Fotovoltaica, Escuela de Organización Industrial, Departamento de Energías renovables, CIEMAT, 2010.
23. Tecnología y Materiales Sustentables [tms] | Paneles solares y Bombas Solares. Bomba solar sumergible Lorentz PS2-150 C-SJ5-8[Online].; 2021 [citado 2021 en. 4]. Disponible en: https://www.tmsmx.com/bomba-solar-sumergible-lorentz-ps2-150-c-sj5-8/?srsltid=AfmBOopeFOMKx5JjF_3qcZ7GkShH5x1FaloG-VVNqQTqe63DPxW04jRZN.
24. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Cuba. Anexo V. Abasto a la ganadería. Resolución 17/2020 (GOC-2020-557-O61). [Gaceta Oficial de la República de Cuba - Edición Ordinaria]. Ministerio de Justicia (minjus). 2020 ag.20;(61):1978.
25. MartínezVarona R, Cisneros Zayas E. Viabilidad económica del riego localizado en el cultivo del café. Rev Cie Téc Agr, 2016 abr.-jun.;25(2):44-50. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542016000200007&lng=es&nrm=iso
26. Flores-Hernández DA, Luviano-Juárez A, Lozada-Castillo N, Gutiérrez-Frías O, Domínguez C, Antón I. Optimal strategy for the improvement of the overall performance of dual-axis solar tracking systems. Energies, 2021 nov.22;14(22):7795. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14227795>