

Familias térmicas solares para procesamiento de productos agropecuarios y agroindustriales en la región Huetar Norte de Costa Rica: programa local piloto

Solar thermal equipments for the processing of agricultural and agroindustrial products in the Northern Huetar Region of Costa Rica: Local pilot program

Tomás J. Guzmán-Hernández¹, Javier M. Obando-Ulloa²,
Freddy Araya-Rodríguez³, Guillermo Castro-Badilla⁴

Guzmán-Hernández, T. J; Obando-Ulloa, J. M; Araya-Rodríguez, F; Castro-Badilla, G. Familias térmicas solares para procesamiento de productos agropecuarios y agroindustriales en la región Huetar Norte de Costa Rica: programa local piloto. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33-2. Abril-Junio 2020. Pág 47-53.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i2.4311>

Fecha de recepción: 29 de abril de 2019
Fecha de aprobación: 11 de agosto de 2019

- 1 Doctor en Ciencias Agronómicas; coordinador del programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), Campus Tecnológico Local San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: tjguzman@tec.ac.cr. Autor de correspondencia.
 <https://orcid.org/0000-0002-2719-8550>
- 2 Doctor en Tecnología Agraria y Alimentaria; docente e investigador del programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), Campus Tecnológico Local San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: jaobando@tec.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-8857-904X>
- 3 Doctor en Ciencias. Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), Campus Tecnológico Local San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: faraya@tec.ac.cr.
- 4 Ingeniero en Electrónica; docente e investigador de la Escuela de Ingeniería Electrónica, Campus Tecnológico Local San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: gucastro@tec.ac.cr.
 <https://orcid.org/0000-0002-7159-9845>



Palabras clave

Agroindustria; energía solar; sistemas solares térmicos; secado solar; sistemas solares termosifónicos.

Resumen

En las operaciones de procesamiento y conservación de productos agropecuarios se aplica diferentes fuentes de energía, cuyo precio ha aumentado en los últimos años. Con el apoyo del programa local piloto de uso de energía solar en la región Huetar Norte, en conjunto con el Instituto Tecnológico de Costa Rica y el Sector Agropecuario, se ha evaluado la aplicación de diversos sistemas térmicos solares en pequeñas y medianas explotaciones agrícolas para sustituir los métodos tradicionales de generación de energía por sistemas limpios para mejorar las condiciones productivas y disminuir la huella de carbono local. Por esta razón, se ha diseñado y evaluado sistemas termosifónicos solares híbridos con un sistema auxiliar eléctrico para la esterilización de equipos de ordeño, así como sistemas térmicos solares forzados híbridos con agua y gas LP para la esterilización y pasteurización de leche o para el secado de productos agrícolas con agua, aire caliente y gas LP y un secador solar pasivo para diferentes tipos de productos agrícolas. Los resultados de la evaluación de estos sistemas se obtuvieron por medio de la ubicación de termopares en lugares claves dentro de los sistemas y fueron almacenados en el espacio cibernético para facilitar su acceso mediante cualquier dispositivo electrónico. Estos resultados han permitido comprobar la disminución de los costos operativos relacionados con las facturas energéticas, el mejoramiento de la eficiencia de los diferentes procesos y la disminución de la huella de carbono de estas explotaciones, lo que representaría una ventaja competitiva en el mercado regional, nacional e internacional.

Keywords

Agroindustry; solar drying; solar energy; thermal solar system; thermosiphonic solar systems.

Abstract

Different energy sources are applied in the operations used for processing and preserving food and other agricultural products. The Technology Institute of Costa Rica and the agricultural sector of Costa Rica has supported the Local Pilot Program for the use of solar energy in the Northern Huetar Region of Costa Rica for the application and evaluation of different solar thermal systems in small and medium-sized agricultural units to replace the traditional methods of energy generation for clean production systems, reduce the local carbon footprint and improve production conditions. For this reason, in the Northern Huetar Region of Costa Rica, hybrid solar thermosiphonic systems with an auxiliary electric system have been designed and evaluated for the sterilization of milking equipment; hybrid solar thermal systems with water and LP gas for sterilization and pasteurization of milk; hybrid forced solar thermal systems with water, hot air and LP gas and a passive solar dryer for different types of agricultural products. The results of the evaluation of these systems were obtained by setting thermocouples in key places inside the systems and they were stored in the cybernetic space to facilitate their access through any electronic device. These results has allowed verify the decrease in operating costs related to energy bills, the efficiency improvement of the different processes and the carbon footprint decreasing of these farms, which would represent a competitive advantage in the regional, national and international markets.

Introducción

La energía ha tenido un papel fundamental no solo para impulsar el desarrollo de los países, sino para generar el bienestar de la población en todos los niveles [1], por lo que el abastecimiento de energía cumple un rol importante en el funcionamiento de cualquier actividad productiva de un país.

En las últimas décadas, la base de generación de energía ha utilizado recursos no renovables, principalmente combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas); sin embargo, el encarecimiento de estos y sus derivados, los altos índices de emisiones contaminantes y los impactos ambientales irreversibles que han generado en el planeta, han conducido a los países a evaluar la llamada matriz energética (conjunto de energías utilizadas) con el propósito de encontrar alternativas menos contaminantes [2].

Esta necesidad del cambio en la matriz se formalizó con el uso de energías limpias, también llamadas renovables, para sustituir parte del consumo de energías fósiles y a la vez, impulsar el compromiso con el desarrollo sostenible por medio de cultivos energéticos o fuentes de energía renovables que hasta el momento no habían sido aprovechadas [1] [2] con el fin de minimizar los costos de producción, principalmente de aquellos que se reflejan en el pago de la factura energética [1].

En torno al tema, y de acuerdo con el VI Plan Nacional de Energía 2012-2030 del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), Costa Rica presenta un potencial teórico solar de 10.000 MW aunque su grado de utilización es mínimo [3]. Dado lo anterior, el MINAET insta a promover programas de ahorro energético en los macroconsumidores, por lo que ha focalizado el estudio de las oportunidades y el potencial que tiene la región Huetar Norte con fuentes de energía alternativas.

Considerando que dicha zona es una de las mejores en cuanto a radiación solar en Costa Rica [4], el Grupo de Investigación en Sistemas Térmicos Solares para la Agricultura del Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE) del Campus Tecnológico Local San Carlos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (SSC-ITCR) ha decantado a favor de la tecnología solar como alternativa viable y efectiva, con el fin de generar la energía necesaria para las pequeñas empresas de la zona para beneficio propio y como distintivo comercial, la cual represente una ventaja competitiva en el mercado regional, nacional e internacional.

Partiendo de lo mencionado, el objetivo de este trabajo consiste en evaluar la aplicación de diversos sistemas térmicos solares en pequeñas y medianas explotaciones agrícolas para sustituir los métodos tradicionales de generación de energía por sistemas limpios para mejorar las condiciones productivas y disminuir la huella de carbono local.

Materiales y métodos

Considerando el informe emitido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en el que se afirma que la ganadería es responsable del 18% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) [5] –por encima del transporte- y partiendo de que en el cantón de San Carlos (Alajuela, Costa Rica) se encuentra el 55% de los asociados de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L. (850 productores en total), quienes generan más del 50% de la producción nacional (0,6 millones de kilogramos de leche), el grupo de investigación se dio a la tarea de aplicar tecnologías que minimicen el impacto generado por el consumo eléctrico de las plantas agroindustriales en las que se desarrolla los procesos productivos del sector ganadero y lechero que inciden negativamente en la huella de carbono local.

Para lograrlo, se desarrolló un sistema térmico solar para el calentamiento de agua para la desinfección de los equipos de ordeño y la pasteurización de leche, que cuenta con paneles solares térmicos, conectados a un tanque acumulador con capacidad para 302,40 l de agua, que posee un sistema eléctrico auxiliar que se activa en caso de que la radiación solar no sea suficiente para que el agua alcance la temperatura requerida (70 °C). El tanque también tiene tres previsiones internas para la conexión de termopares para registrar los datos de captación de energía y el uso del agua, tal como lo describe [6]. Estos sistemas han sido instalados y evaluados, tanto en la lechería del SSC-ITCR como en la lechería de la Escuela Técnica Agrícola e Industrial (ETAI) y en la planta procesadora de las Asociaciones de Productores Lácteos LLAFRACK y San Bosco [7].

Gracias a la capacitación que se impartió a los productores afiliados a la Asociación de Productores Agroambientalistas de Cacao de Guatuso (ASOPAC) sobre el uso de estos sistemas en explotaciones agrícolas, surgió la idea de aplicar esta tecnología al secado de productos agrícolas, de modo que se los productos tengan mayor inocuidad y calidad; por tanto, se diseñó dos sistemas de secado solar, uno de ellos híbrido con circulación forzada de aire y otro con circulación pasiva [8].

Una vez instalados todos los sistemas, se procedió al registro de la masa, tanto de agua fría y agua caliente como de aire frío y caliente, cálculo del diferencial (ahorro) de electricidad del sistema en función del uso de los sistemas solares, balance energético de los sistemas en función de la zona, determinación de la eficiencia energética y la disminución de los costos de producción, cálculo de la disminución de la huella de carbono por medio del producto del valor de los kWh anuales ahorrados y medidos por el sistema y el valor medio de Kg de CO₂ emitidos en la generación eléctrica, según se describe en [2] y [6].

Resultados y discusión

De acuerdo con [9], la región Huetar Norte es una de las dos mejores zonas con radiación solar en Costa Rica, la cual presenta una producción máxima promedio de 0,25 kWh, específicamente cuando el sol está en el cenit (entre las 11 y 12 h; figura 1).

Con base en estos resultados, se ha determinado que en esta región es posible generar una producción diaria promedio de energía solar de 7 kWh y una producción mensual promedio de 187 kWh, lo cual ha permitido determinar que los sistemas térmicos solares instalados en LLAFRACK y San Bosco aportaron la mayor cantidad de energía necesaria para las operaciones que se realizan en la planta procesadora (97,75 y 87,81%, respectivamente), mientras que aquellos instalados en la lechería del ITCR-SSC y la ETAI tan solo aportaron 73,51% y 52,84% de la energía necesaria, respectivamente, para alcanzar la temperatura del agua requerida para las operaciones de limpieza, sanitización y pasteurización (cuadro 1), lo que a su vez ha reducido la emisión de gases de efecto invernadero entre 85% y 99% en las unidades productivas donde se instaló estos sistemas (cuadro 2).

Con respecto de los sistemas térmicos solares de secado para productos agrícolas, se comparó el proceso de secado de cacao y frijol tanto en el sistema térmico solar con circulación de aire forzado como en el pasivo: los resultados permitieron determinar que en el sistema con circulación forzada fue más eficiente para alcanzar un porcentaje de humedad similar, puesto que presentó un tiempo de proceso más corto (48 y 40 h, respectivamente) en comparación con el sistema con circulación pasiva (cuadro 3).

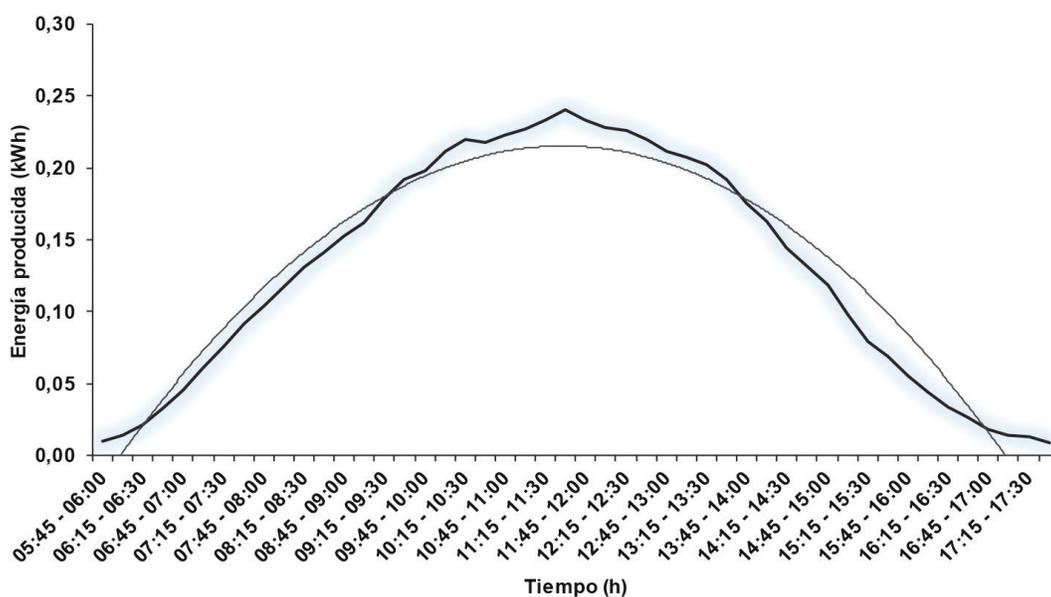


Figura 1. Producción horaria promedio de energía solar durante el día en la región Huetar Norte de Costa Rica, según los datos registrados en el sitio web <https://enlighten.enphaseenergy.com>

Cuadro 1. Porcentaje de energía aportada por el sistema solar térmico para las operaciones de sanitización y pasteurización que se realizan en las unidades productivas donde se instaló los sistemas

Unidad productiva	Energía (KWh/mes)			Porcentaje de energía aportada por el sistema térmico solar (%)
	Demandada	Suministrada por el sistema térmico	Suministrada por el sistema auxiliar	
ITCR-SSC	458,70	242,04	216,04	52,84
ETAI	488,15	358,82	129,33	73,51
LLAFRAK	427,89	416,28	9,61	97,75
San Bosco	418,26	367,30	50,99	87,81

Cuadro 2. Porcentaje de reducción de las emisiones de CO₂ registradas en las unidades productivas donde se instaló los sistemas térmicos solares

Unidad productiva	Emisiones de CO ₂ (Kg)		Reducción (%)
	Antes de la instalación de los sistemas	Después de la instalación de los sistemas	
ITCR-SSC	165,00	11,88	92,80
ETAI	48,44	7,11	85,32
LLAFRAK	3855,60	2,25	99,94
San Bosco	3855,60	11,93	99,69

Cuadro 3. Comparación del tiempo de secado de cacao y frijol en dos tipos de sistemas térmicos solares implementados en la región Huetar Norte de Costa Rica

Producto	Sistema térmico solar de secado			
	Circulación forzada de aire		Circulación pasiva de aire	
	Tiempo de proceso (h)	Humedad (%)	Tiempo de proceso (h)	Humedad (%)
Cacao	48	7	122	7,52
Frijol	40	11	168	11,29

Además, otros productos agrícolas sometidos a secado con circulación forzada de aire alcanzaron los porcentajes de humedad permitidos por las normas internacionales [10] en aprox. 40 - 56 h (cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentajes de humedad alcanzados por los productos agrícolas secados en el sistema térmico solar híbrido con circulación forzada de aire

Producto	Tiempo de proceso (h)	Humedad (%)
Ayote	48	8
Café	56	11
Cúrcuma	48	12
Jengibre	48	7
Piña	40	12

Conclusiones

Este estudio ha permitido comprobar que la energía electromagnética emanada del sol es ilimitada y está disponible en promedio de 200 - 500 W/m² en la mayor parte del mundo, por lo que su uso es una opción viable, a través de sistemas combinados para las operaciones agrícolas y la conservación de los productos agropecuarios. Además, el uso de este tipo de energía contribuye no solo a la mitigación de los gases de efecto invernadero para reducir el efecto del cambio climático a nivel global, sino como un distintivo comercial que represente una ventaja competitiva para los productores de la región Huetar Norte en los mercados regionales, nacionales e internacionales.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica y a la Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica por el apoyo económico a los proyectos VIE 1710- 024, VIE 1701-180, VIE 1710-012 y F 0917, respectivamente.

Referencias

- [1] I. Briceño, et al. Potencial de generación de energía de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. *Rev. Palmas*, vol. 36, no. 3, pp. 43-53, Jul.- Sept. 2015.
- [2] WST.J. Guzmán-Hernández, et al. Evaluación de sistemas térmicos y fotovoltaicos solares en unidades de producción agropecuaria, región Huetar Norte, Costa Rica. *Agron. Mesoam.*, vol. 28, no. 3, pp. 535-548, Sept.-Dic. 2017.
- [3] Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET). (2011). VI Plan Nacional de energía 2012-2013. Disponible en http://www.dse.go.cr/es/03Publicaciones/01PoliticaEnerg/VI_Plan_Nacional_de_Energia_2012-2030.pdf.
- [4] Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2010). Costa Rica: matriz eléctrica. Disponible en https://www.kolbi.cr/wps/wcm/connect/8823524c-7cc7-4cef-abde-a1f06e14da0e/matriz_folleto_web2.pdf?MOD=AJPERES&CVID=l8SK4gG.
- [5] Matthews, C. (2006). La ganadería amenaza el medio ambiente. Disponible en <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>.
- [6] T. Guzmán-Hernández, et al. Uso de la energía solar en sistemas de producción agropecuaria: producción más limpia y eficiencia energética. *Tecnol. Marcha. Encuentro de Investigación y Extensión* 2016, pp. 46-56. 2016.
- [7] T. Guzmán, et al. Resultados de la implementación de tecnologías solares en sistemas de producción agropecuaria en Costa Rica. *Ventana Lechera*, vol. 35, pp. 4-17, Ene. 2017.
- [8] T.J. Guzmán-Hernández, et al. Aplicación de tecnologías solares térmicas híbridas, para la deshidratación y secado de productos agrícolas en la región Huetar Norte de Costa Rica. *Ventana* vol. 11, no. 1, pp. 21-25. 2017.
- [9] R. Portilla Pastor, et al. Determinación de potenciales de energía solar para generación eléctrica en Costa Rica. En: *Memorias Congreso Internacional Clima, Agua y Energía, pilares para el desarrollo sostenible*. Universidad Nacional Campus Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. pp. 231-244. 2014.
- [10] Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). Cuadro de composición de alimentos de Centroamérica. 2a edición. 128 pp. 2012.