

Uso de la energía solar en sistemas de producción agropecuaria: producción más limpia y eficiencia energética

Using solar energy in agriculture and livestock: cleaner production and energy efficiency

Tomás de Jesús Guzmán-Hernández^{1*}, Freddy Araya-Rodríguez², Guillermo Castro-Badilla³, Javier M. Obando-Ulloa⁴

Fecha de recepción: 1 de abril de 2016

Fecha de aprobación: 8 de junio de 2016

Guzmán-Hernández, T; Araya-Rodríguez, F; Castro-Badilla, G; Obando-Ulloa, J. Uso de la energía solar en sistemas de producción agropecuaria: producción más limpia y eficiencia energética. *Tecnología en Marcha*. Encuentro de Investigación y Extensión 2016. Pág 46-56.

DOI: 10.18845/tm.v29i8.2984

1 Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, Costa Rica. Correo electrónico: tjguzman@itcr.ac.cr

2 Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, Costa Rica. Correo electrónico: faraya@itcr.ac.cr

3 Escuela de Ingeniería en Electrónica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, Costa Rica. Correo electrónico: gucastro@itcr.ac.cr

4 Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, Costa Rica. Correo electrónico: jaobando@itcr.ac.cr

* Autor de correspondencia.



Palabras clave

Energía solar; gases de efecto invernadero; huella de carbono; industria láctea; sistema fotovoltaico; sistema térmico.

Resumen

Actualmente se busca nuevas opciones de energías limpias para mitigar el efecto de invernadero y lograr sistemas de producción verdaderamente sostenibles; entre éstas, la energía solar y el uso de biomasa y otras fuentes renovables se han recomendado particularmente para lograr la captura local de carbono y la adaptabilidad al cambio climático. Este artículo presenta el diseño de un sistema térmico y fotovoltaico, y los resultados preliminares obtenidos tras su instalación en lecherías y plantas procesadoras de lácteos ubicadas en la Región Huetar Norte de Costa Rica, con datos que demuestran la potencialidad de la producción energética a partir de la energía solar en actividades agropecuarias. Estos resultados preliminares han permitido comprobar que mediante estos sistemas se logra producir alrededor del 30% de la energía necesaria para estas actividades, contribuyendo de esta forma a disminuir los costos de producción, la emisión de gases de efecto invernadero y por ende, la huella de carbono.

Keywords

Solar energy; greenhouse gases; carbon footprint; dairy industry; photovoltaic system; thermal system.

Abstract

New clean energy alternatives to mitigate the greenhouse effect and achieve real clean production are currently being sought. Among these alternatives, solar energy and use of biomass and other renewable sources have been recommended for their effectiveness in adaptability to climate change and local carbon sequestration.

This paper presents the design and preliminary results of a thermal system installed in a milk factory and dairy processing plants located in the North Huetar Region of Costa Rica. The generated data show the potentiality of energy production by solar energy systems in agricultural activities. These preliminary results have shown that these systems make it possible to produce about 30% of the energy needed for these activities, thereby allowing reduce production costs, emission of greenhouse gases and, consequently, carbon footprint.

Introducción

Del 100% de la radiación solar, sólo un 51% llega a la Tierra. Sin embargo, un 26% es dispersado por la atmósfera como radiación difusa, y sólo un 25% penetra directamente hasta la superficie del planeta. (Taiz & Zeiger, 2002; Camejo, 2012).

El porcentaje de la energía del sol que llega directamente a la Tierra se aprovecha en alguna medida para el calentamiento de agua, a través de colectores solares, o para producir corriente eléctrica mediante celdas fotovoltaicas. Estas formas de producción de energía son las más respetuosas con el medio ambiente, por lo que reducen la dependencia energética de energías fósiles y contaminantes como el petróleo (Landa, 2005; Roman, 2007; Rizk & Nagrial, 2008; Torpey, 2009; Tinajeros, 2011, y Swift, 2011). Berriz (2012) afirma la necesidad de que los países que disponen de radiación solar suficiente utilicen estos sistemas, para beneficiarse del

avance a pasos agigantados de las aplicaciones de la energía solar, las cuales se evidencian en el aumento de la eficiencia de las celdas fotovoltaicas y su producción en masa, en los calentadores de agua comerciales y las tecnologías de concentración solar, entre muchas otras (ACESOLAR 2014).

A pesar de que los recursos energéticos del planeta son limitados, la demanda de energía solar se incrementa cada año, de ahí la importancia de fomentar el uso de energías renovables como la solar, especialmente bajo las formas de energía solar fotovoltaica y energía solar térmica, ambas por medio de paneles solares (Landa, 2005).

Los paneles solares son dispositivos que aprovechan la energía que llega a la Tierra en forma de radiación solar, los cuales están compuestos principalmente por células de silicio policristalino, cobre, aluminio, PVC y otros materiales. Estos paneles se clasifican de acuerdo con su utilización. Existe el panel solar para el calentamiento doméstico e industrial de agua y líquidos (colectores solares) que puede ser de circuito abierto o de circuito cerrado y que es visible en techos y azoteas de casas, edificios e industrias. En este sistema, el agua pasa directamente por los colectores solares y se almacena en un depósito para su uso. El sistema cerrado reduce costos y es más eficiente, pero sus ventajas se reducen en zonas con temperaturas bajas, así como con alta concentración de sales, que acaban obstruyendo los paneles. En las instalaciones de circuito cerrado, se distinguen dos modalidades: flujo por termosifón y flujo forzado. Los paneles solares térmicos en general tienen un muy bajo impacto ambiental (RES & RUE DISEMINATION, 2005; Khan, Abdul Malek, Mithu & Das, 2010, y Quirós, 2011). Los otros paneles solares son para la producción o generación de electricidad, y se conocen como paneles fotovoltaicos.

Los paneles solares de uso doméstico e industrial (circulación natural o termosifón) pueden ser diseñados y construidos dependiendo de la disponibilidad de los materiales; pero el principio básico es el mismo para todos los diseños. El agua calentada por este procedimiento se utiliza también en hospitales, centros de recreo, hoteles y sistemas agropecuarios (Guzmán & Iglesias, 1986; Guzmán & Iglesias, 1987^a; y Guzmán & Iglesias, 1987^b).

En los paneles solares térmicos, los tubos del colector solar, por los que circula el agua, se colocan longitudinalmente, de manera tal que el agua fría, la cual proviene de un tanque de almacenamiento, entra por la parte baja y una vez que se calienta por la radiación solar, sale por la parte superior del colector debido a su menor densidad. Los procesos de entrada y salida de agua continúan hasta que la radiación solar haya disminuido al mínimo. De esta manera, el agua caliente se acumula en el tanque. Con 1 m² de un colector plano, con el clima de Costa Rica, se puede calentar un promedio de 75 L de agua diariamente, a una temperatura de 20 °C hasta 55 o 60 °C (IMN, 2013). Sin embargo, debido a que la radiación solar no es siempre suficiente para calentar agua todos los días durante el año, es recomendable conectar el sistema solar con un sistema convencional de calentamiento de agua (Shyam, 1996).

En la modalidad de flujo termosifónico para calentamiento de agua, el movimiento que se genera a partir del mismo calentamiento a través de la captación de la radiación solar, en un sistema cerrado, mantiene el sistema en funcionamiento. En esta modalidad, no se utiliza ningún tipo de energía, sino solamente la gravedad. No obstante, en función de los niveles en los tanques de agua, en la modalidad de flujo forzado se usa una bomba para el movimiento del agua dentro del sistema (Despaigne, Torres, Maceo & Cobián, 2003; Andersen, Furbo, Hampel, Heidemann & Müller-Steinhagen, 2007; Khan *et al.*, 2010; Anderson *et al.*, 2008; Alvarado, 1998; Wongsuwan, 2005, y RES & RUE DISEMINATION, 2005).

Desde 1993, CENSOLAR planteó la necesidad de utilizar los sistemas solares de captación de energía para diferentes usos en la industria, los sectores productivos y las zonas residenciales. Portilla (2014) indicó que el potencial previsto anual de energía fotovoltaica en Costa Rica es

de 576 747 MW, el cual se traduce en 656 195 GWh/año, suficiente para justificar el uso de paneles solares fotovoltaicos en todo el país, por lo que el Instituto Nacional de Transferencia de Tecnologías Agropecuarias (INTA) en su informe de 2011 expuso a la industria cárnica y lechera costarricense esta opción para mejorar su eficiencia energética, con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por unidad de producto, puesto que la ganadería es responsable del 18% de las emisiones mundiales de GEI, porcentaje mayor que aquel generado por la industria de los transportes (Matthews, 2006).

Por su parte, Guzmán (2014) indicó que los sistemas solares térmicos y fotovoltaicos pueden ser usados en actividades agropecuarias y en unidades de producción del sector, entre ellas, las lecherías, las plantas de matanza, las empacadoras y las plantas procesadoras, en forma de autoconsumo, para bajar los costos por facturas eléctricas y disminuir la huella de carbono del sector ganadero. Anteriormente, Guzmán e Iglesias (1986, 1987, 1989, 1991 y 1999) habían planteado también la necesidad de aplicar estos sistemas solares térmicos en unidades de producción agropecuaria con el fin de controlar enfermedades y plagas.

Las fuentes citadas coinciden en la urgencia de aplicar tecnologías que minimicen el impacto generado en los procesos productivos del sector ganadero, ya que en la zona norte de Costa Rica existe una gran cantidad de lecherías, invernaderos de producción de hortalizas y de plantas ornamentales, fincas destinadas a producción de semillas y de otros tipos que usan de manera sistemática agua o aire en sus unidades, calentados por medio de resistencias eléctricas, intercambiadores térmicos y gas.

En el cantón de San Carlos se encuentra el 55% de los asociados de la Cooperativa de Productores Dos Pinos, es decir, un total de 850 productores de leche, cuya producción es más del 50% de la producción nacional (0,6 millones de kilos de leche).

En esta situación, se ha estudiado estrategias de eficiencia energética, oportunidades y potencial en la zona, y se ha determinado que se puede optar por la tecnología solar como alternativa viable y efectiva, debido a que en el último estudio del ICE, las dos regiones de mayor radiación solar en el país son la Huetar Norte y la Chorotega (Portilla 2014).

En las lecherías de la zona Norte, con una media de producción diaria de 500 a 1000 kg de leche, la reducción de emisiones de carbono a la atmósfera con la opción presentada sería de 5 a 10 t CO₂ por año. Extrapolando a la producción diaria de leche, tan sólo en San Carlos, se obtendría un potencial de reducción de emisiones de carbono de hasta 4,38 t CO₂ anuales, estimando una emisión media de 0,94 kg de CO₂ por kW de electricidad generado con combustibles fósiles.

Estas consideraciones condujeron a proponer como objetivo de este trabajo evaluar la eficiencia de sistemas solares de captación térmica para el calentamiento de agua y la producción de energía en unidades de producción agropecuarias.

Materiales y métodos

El trabajo de ubicación de los sistemas solares ha respondido a la necesidad de uso de éstos en la Región Huetar Norte de Costa Rica, vinculada directamente con la Sede Regional del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) en San Carlos, por su vocación agropecuaria, especialmente lechera y ganadera.

Para tal efecto, se diseñó y construyó tres instalaciones con sistemas solares termosifónico y/o forzados, según el caso, en las unidades seleccionadas (cuadro 1). El trabajo se inició en julio del 2014, y se continúa trabajando. Sin embargo, para efectos de este artículo, sólo se presenta los datos procedentes de la lechería de la Sede Regional del ITCR durante los meses de mayo

a diciembre de 2015, ya que los otros sistemas se encuentran en etapa de acondicionamiento para la recolección de la información por medio de un sistema computarizado.

Cuadro 1. Unidades de producción lecheras y de procesamiento de lácteos seleccionadas en la región Huetar Norte

Lechería / productores de lácteos	Equipo instalado	Estado de la instalación
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional de San Carlos (ITCR-SSC)	Solar térmico termosifónico, con sistema auxiliar eléctrico Sistema fotovoltaico	En operación desde el mes de mayo de 2015
Escuela Técnica Agrícola e Industrial (ETAI)	Solar térmico termosifónico, con sistema auxiliar eléctrico	En operación, desde el mes de octubre de 2015
Productores de lácteos LLAFRAK, de Juanilama de San Rosa de Pocosol	Solar térmico forzado, híbrido con sistema auxiliar de gas	En operación desde el mes de diciembre de 2015

Los equipos instalados están compuestos por un sistema de paneles solares térmicos para el calentamiento de agua, conectados a un tanque acumulador con capacidad para 302,40 L de agua y acoplados a un sistema eléctrico auxiliar. El tanque acumulador tiene tres previsiones interiores para la conexión de termopares, los que a su vez, están conectados a una computadora para registrar los datos de captación de energía y el uso del agua por medio de un medidor. Además, este tanque tiene una válvula de escape, una de expansión y otra válvula de conexión del sistema solar con el sistema auxiliar eléctrico o de gas. El sistema también presenta un conjunto de tuberías de conexión a los equipos para esterilización, los termómetros, los equipos de medición inalámbricos y los sistemas auxiliares eléctricos y de gas.

Una vez instalados todos los sistemas se procedió a la toma de datos de la siguiente manera: registro de la masa de agua fría / agua caliente captada por el sol; cálculo del diferencial (ahorro) en electricidad con el sistema original, 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; captación de la huella de carbono:

Captación de la huella de carbono= $\text{KWh ahorrados} \times \text{kg CO}_2 \text{ emitidos en la generación eléctrica}$

Los datos del valor medio de los kilogramos de CO_2 emitidos en la generación eléctrica son proporcionados anualmente en Costa Rica por la Internacional Energy Agency (IEA).

Resultados y discusión

Esquemas básicos solares instalados: Sistemas híbridos termosifónico y térmico forzado.

El sistema de captación de energía solar de tipo termosifónico híbrido se instaló tanto en la lechería de la Sede Regional del ITCR como en la lechería de la Escuela Técnica Agrícola e Industrial (ETAI). Este sistema se define como el movimiento de un fluido (agua) por medio de dos factores: la gravedad y el calentamiento de este fluido por la radiación solar. Cuando el agua se calienta, ésta se dilata y entonces disminuye su densidad, por lo que al entrar al sistema es más densa. La fuerza de la gravedad y la disminución de la densidad hacen subir

el agua caliente y almacenarse en un depósito. Esto se produce en el interior del colector solar como parte de un intercambio de calor por convección. El sistema solar forzado y el sistema termosifónico disponen de los mismos elementos, ubicados de manera diferente y con equipos adicionales. El primero está compuesto por un sistema primario de captadores, un acumulador solar, un grupo hidráulico con bombas de movimiento, un sistema de regulación y un vaso de expansión (figura 1).

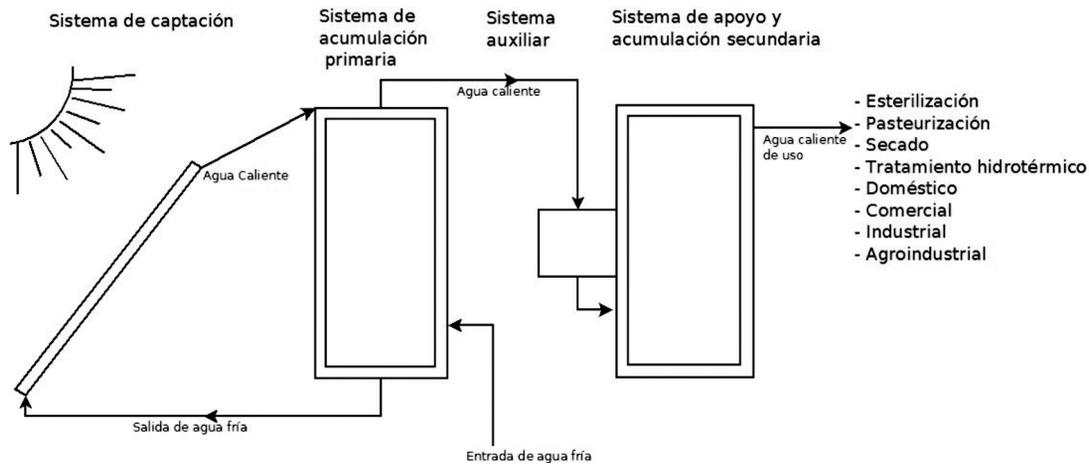


Figura 1. Sistema básico termosifónico de captación térmica instalado en la lechería de la Escuela de Agronomía de la Sede Regional San Carlos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR-SSC), y en la Escuela Técnica Agrícola e Industrial de Santa Clara (ETAI).

En la planta de procesamiento de lácteos de la Asociación de Productores de Lácteos LLAFRAK, ubicada en Juanilama, de Santa Rosa de Pocosal, se instaló un sistema de tipo forzado (figuras 2 y 3).

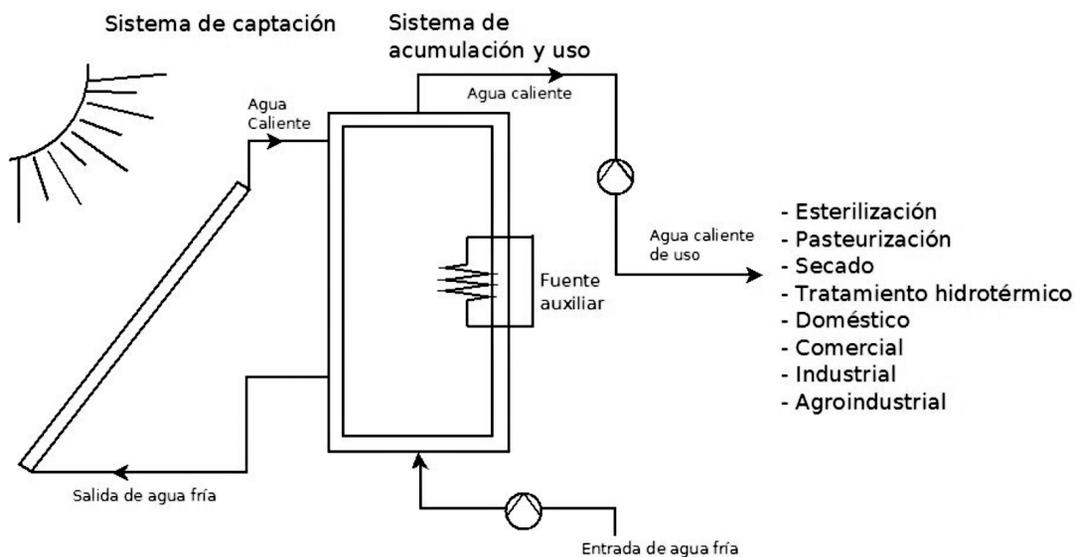


Figura 2. Esquema forzado básico

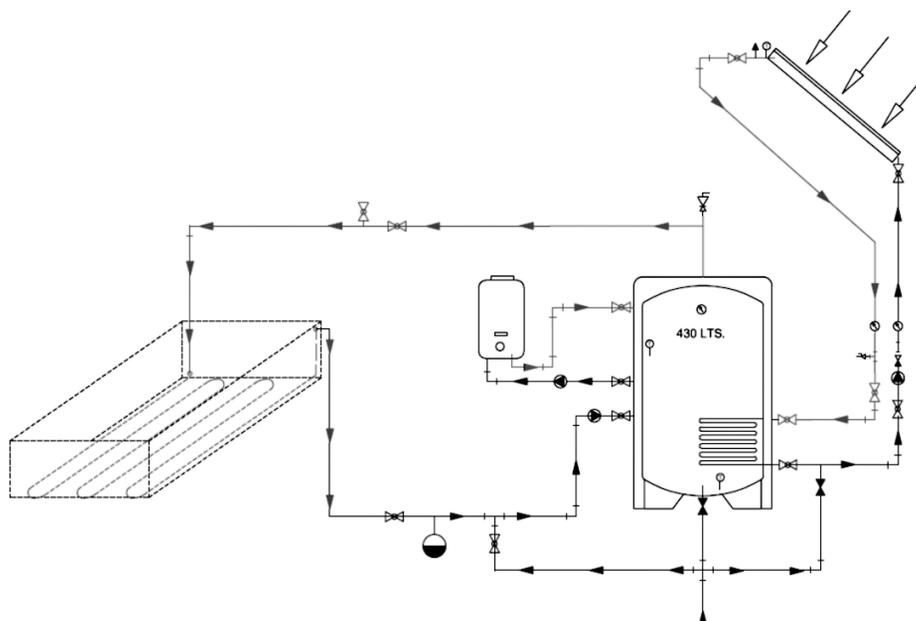


Figura 3. Esquema del sistema de captación de energía solar de tipo forzado híbrido, instalado en la planta de procesamiento de la Asociación de Productores de Lácteos LLAFRAK, en Juanilama, Santa Rosa de Pocosol

Datos solares captados y registrados en los sistemas

Como se indicó anteriormente, en este trabajo sólo se presenta los datos recolectados en la lechería de la Sede Regional del ITCR, durante los meses de mayo a diciembre de 2015, ya que los otros sistemas se encuentran en la etapa de acondicionamiento del sistema de registro de datos.

En la zona donde se ubica la lechería, perteneciente al Programa de Producción Agropecuaria (PPA), se registró temperaturas sobre los 25 °C desde mayo hasta noviembre de 2015. En el sistema térmico instalado en esta lechería las temperaturas sobrepasaron los 50 °C, a excepción del mes de julio, en que fueron aproximadamente de 42 °C (cuadro 2).

Cuadro 2. Temperatura ambiente y temperatura alcanzada por el sistema térmico híbrido instalado en la lechería de la Sede Regional del ITCR, en el período de mayo a noviembre de 2015.

Mes	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura alcanzada por el sistema (°C)	Temperatura demandada (°C)
Mayo	27,54	52,49	70,00
Junio	27,34	50,81	70,00
Julio	25,97	41,86	70,00
Agosto	26,09	71,71	70,00
Septiembre	27,39	71,08	70,00
Octubre	26,27	68,70	70,00
Noviembre	25,99	69,65	70,00
Diciembre	26,65	56,34	70,00

En este sistema térmico termosifónico e híbrido, se obtuvo una producción de energía solar de aproximadamente 542,3 kWh, cuyo máximo rendimiento (74 kWh/día) se registró durante el mes de agosto de 2015, mientras que en el mes de diciembre la producción de energía solar fue de tan sólo 42,3 kWh/día (cuadro 3). Debido a esto, el sistema logró satisfacer por sí mismo la demanda de energía necesaria para las diferentes operaciones de la lechería en los meses de agosto, septiembre y noviembre, mientras que en el mes de julio sólo fue capaz de suplir el 39% de la energía requerida (figura 4). En general, esta producción energética logró economizar entre el 40 y el 50 % de la energía consumida en esta unidad, considerando un requerimiento medio de 128,17 kWh, lo cual se traduce en un total de 1007,9 kg CO₂ capturado, lo que a su vez equivale a un total de 26 árboles y a un ahorro total de ¢232 322,43 en la factura eléctrica de esta lechería (cuadro 4).

Es importante destacar que este sistema suministra agua caliente, a una temperatura de 70 °C, para los procesos de lavado y esterilización de equipos de la lechería y los laboratorios de Biocontroladores y de Calidad de Carnes.

Cuadro 3. Energía solar promedio producida mensualmente y energía suplida por el sistema térmico para la operación de la lechería de la Sede Regional San Carlos del ITCR

Mes	Energía promedio producida por el sistema (kWh)	Temperatura necesaria para el proceso (°C)	Energía suplida por el sistema (%)
Mayo	69,2	70	59
Junio	68,9	70	49
Julio	67,4	70	39
Agosto	74,0	70	104
Septiembre	73,6	70	102
Octubre	73,3	70	97
Noviembre	73,6	70	99
Diciembre	42,3	70	68

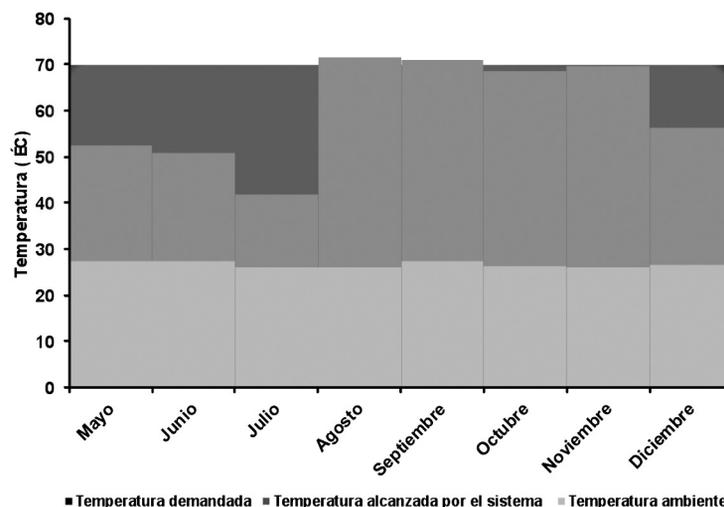


Figura 4. Promedio mensual de la temperatura ambiente, la temperatura alcanzada por el sistema y la temperatura demandada para la operación de la lechería de la Sede Regional San Carlos del ITCR

Cuadro 4. Balance energético de los sistemas térmico y fotovoltaico instalados en la lechería de la Sede Regional del ITCR

Mes	Energía media producida (kWh/día)		Energía total media producida por ambos sistemas (kWh)	Valor económico de la energía producida (¢)*	Carbono capturado (kg CO ₂)	Árboles equivalentes (u)
	Sistema termosifónico	Sistema fotovoltaico				
Mayo	54	179	233	¢ 26 661,00	123,60	3
Junio	54	161	215	¢ 25 311,00	111,80	3
Julio	57	184	241	¢ 28 588,94	127,20	4
Agosto	72	201	273	¢ 31 108,62	139,00	3
Septiembre	62	201	263	¢ 30 321,22	120,00	3
Octubre	72	173	245	¢ 28 988,57	120,00	3
Noviembre	78	196	274	¢ 30 827,50	120,00	3
Diciembre	58	212	270	¢ 30 515,58	146,3	4
Total	507,00	1507,00	2014,00	¢ 232 322,43	1007,90	26

* Datos obtenidos de acuerdo con la tarifa actualizada de la Cooperativa de Electrificación Rural de San Carlos, R.L. (COOPELESCA R.L.)

Conclusión

De acuerdo con los resultados obtenidos en la lechería de la Sede Regional del ITCR, se pudo comprobar que los sistemas de captación de energía solar son una fuente eficiente para la disminución de los costos operacionales por concepto de energía eléctrica en una explotación pecuaria, así como también de la huella de carbono que genera. Además, por medio de esta tecnología se contribuye a la disminución de los gases de efecto invernadero. Sin embargo, es necesario confirmar estos resultados con aquellos que se obtengan en otras explotaciones agropecuarias.

Reconocimiento

Los autores agradecen los aportes y ayuda recibidos de parte del Programa de Regionalización Universitaria (PUR), por intermedio de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica; igualmente, de parte del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de la Región Huetar Norte. También agradecen el apoyo financiero por parte del M.Sc. Luis Paulino Méndez Badilla, Vicerrector de Docencia y del M.B.A. William Vives Brenes, Vicerrector de Administración, ambos del ITCR, para la puesta en marcha de la propuesta de trabajo. Los autores agradecen toda la cooperación y ayuda recibida de la Dirección Administrativa de la Sede Regional de San Carlos, del M.Sc. Edgardo Vargas Jarquín, de la MBA. Mildred Zúñiga Carvajal y del Bach. Dennis Mendez Palma. A la Ing. Marcela María Chavez Alvarez, le agradecen por su colaboración con el programa DIA.

Bibliografía

- ACESOSOLAR (2014). Investigación en Energía Solar en Costa Rica. Asociación Costarricense de Energía Solar.
- Andersen, E.; Furbo, S.; Hampel, M.; Heidemann, W., & Müller-Steinhagen, H. (2007). Investigations on stratification devices for hot water heat stores. *International Journal of Sustainable Energy*, 32: 255-263. En línea, recuperado el 29 de junio, de Wiley Interscience.
- Andersen, E. (2008). Hot water heat stores by termosiphonics system. *International Journal of Sustainable Energy*. En línea, recuperado el 29 de junio, de Wiley Interscience.
- Alvarado, R. (1998). *Boletín Meteorológico* (núms. 1, 2 y 3). San Carlos, Costa Rica:
- Publicaciones ITCR. Berriz, P. L. (2012). La energía solar: base para el desarrollo sostenible. *Energía y Tú*, 58, abril-junio. Cuba.
- Boletines informativos del IMN. Consultados en el 2013 en <http://www.imn.ac.cr>.
- Camejo, J. E. (2012). Conectar el sol con la red. *Energía y Tú*. 57, enero-marzo. Cuba.
- CENSOLAR. (1993). *Valores medios de irradiación solar sobre suelo horizontal*. España.
- Despaigne, H.; Torres, A.; Maceo, F., & Cobián, S. (2003). Sistema solar termosifónico de calentamiento de agua sanitaria en cayo Las Brujas. *Memorias de la Primera Convención Internacional de Energía y Medio Ambiente*, Santiago de Cuba, 13-17 de noviembre.
- Guzmán, T. & Iglesias, J. (1986). Estudio preliminar del diseño, montaje y prueba de planta de tratamiento hidrotérmico a la semilla agámica de la caña de azúcar. *Proyección*, IPROYAZ, pp. 15 - 20, Cuba.
- Guzmán, T. & Iglesias, J. (1987a). *Energía solar para la agroindustria azucarera* [Informe técnico]. Edición ISP JAE.
- Guzmán, T. & Iglesias, J. (1987b). *Evaluación técnico-económica de una planta solar de tratamiento hidrotérmico a la semilla de caña de azúcar*. I Conferencia Científica de la ATAC en la AC de Cuba.
- Guzmán, T. & Iglesias, J. (1989). Planta solar para la termoterapia de la semilla agámica de la caña de azúcar. *Energía*, pp. 3-7, Cuba.
- Guzmán, T. & Iglesias, J. (1991). *Instalación solar para termoterapia de la semilla de caña de azúcar*. Conferencia Internacional de Arquitectura e Ingeniería, Nueva York.
- Guzmán, T. & Iglesias, J. (1999). Planta solar de hidrotratamiento para el control de enfermedades en cultivos económicos. *Memorias del Congreso Costarricense de la Caña de Azúcar* (p. 250). Condovac, Guanacaste, Costa Rica ..
- Guzmán, T. (2014). Uso de tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar en actividades económicas agropecuarias en Costa Rica. *Memorias Congreso Internacional Clima, Agua y Energía, Pilares para el Desarrollo Sostenible* (pp. 67-84), Universidad Nacional Campus Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. ISBN: 978-9968-638-12-8.
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (2013). Consultado el 9 de febrero del 2013 en www.imn.ac.cr.
- Insunza, J. (2013). *Meteorología descriptiva: Radiación solar y terrestre*. Recuperado el 9 de febrero del 2013 de http://www.met.igp.gob.pe/users/yamina/meteorologia/radiacion_doc_Univ_CHile.pdf,
- Instituto nacional de Tecnologías Agropecuarias (2011). Ganadería y efecto invernadero: mejor producción, menos contaminación. *INTA Informa*. Consultado el 11 marzo del 2013 en <http://intainforma.inta.gov.ar/?p=6579>
- Agencia Internacional de energía renovable (2013). http://www.irena.org/News/Description.aspx?NType=NW&PriMenuID=16&catid=84&mnu=cat&News_ID=312. Consultado en abril del 2013.
- Khan, M.; Abdul Malek, A.; Mithu, M., & Das, D. (2010). Design, fabrication and performance evaluation of natural circulation rectangular box-type solar domestic water system. *International Journal of Sustainable Energy*, 2(3), September, 164-177.
- Landa, M. (2005). *Energía solar en España: El potencial solar de España es el más alto de Europa debido a su privilegiada situación y climatología*. Consultado el día 10 de febrero del 2013 en http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2005/01/11/114942.php.
- Matthews, C. (2006). La ganadería amenaza el medio ambiente. FAO Sala de Prensa. Consultado 12 marzo del 2013 en <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>.

- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (2011). *VI Plan Nacional de energía 2012-2013*. Consultado 12 de marzo del 201 en. http://www.dse.go.cr/es/03publicaciones/01PoliticaEnerg/VI_Plan_Nacional_de_Energia_2012-2030.pdf.
- Portilla Pastor, R.; Álvarez Morales, C.; Segura López, W. 2014. 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.
- Quirós, L. (2011). Calentando el agua y cuidando el ambiente. *Construir*. Consultado en <http://www.revistaconstruir.com/construccion-sostenible/836>
- RES & RUE DISEMINATION (2005). *Energía solar térmica: Proyecto de circulación natural y forzada*. Consultado el 10 de febrero del 2013 en <http://www.cesu.es/temas>
- Rizk, J. & Nagrial, M. H. (2008). Impact of reflectors on solar energy. *Proceedings of the World Academy of Science. Engineering and Technology*, 31, July.
- Roman, H. (2007). Here comes the sun: Residential solar systems. *Power energy*. Consultado el 10 de febrero del 2013 en www.techdirections.com.
- Shyam S. N. (2005). *Energía solar: Conceptos básicos y su utilización*. Departamento de Física de la Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Shyam, S N. (1996). *La energía solar y su utilización*. Proyecto de investigación desarrollado en el Departamento de Física de la Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Sistema por termosifón. Consultado el día 9 de febrero del 2013 en http://www.mimacsolar.es/equipos_forzados.html.
- Swift K.D. (2011). Is a solar energy system right for your organization? *Management Accounting Quarterly*, 12(4).
- Sopian, K.; Syarhri, M.; Abdullah, S.; Othman, M., & Yatim, B. (2007). Unglazed fiber glass reinforced polyester solar water heater whit integrated storage system. *Journal of Energy Engineering* 133(1): 26.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2002). Photosynthesis: The light reaction. *Plant physiology* (Chapter 7). USA, pp. 112-115.
- Tinajeros, S. M. (2011). Sistema de calentamiento de agua con energía solar en la ciudad de Arequipa. *XVIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente*, Universidad Nacional de San Agustín, Escuela de Física, Perú.
- Torpey, E. (2009). You are a What? Solar Photovoltaic installer. *Occupational Outlook Quarterly*, Bureau of Labor.
- Uribe, M. (2007). Cambio del sistema de calentamiento de agua empleando calderas por paneles y otros procesos. *Producción más limpia*, julio-diciembre, 2(2).
- UPC (1999). Sistema de calentamiento con energía solar. Recuperado el 9 de febrero del 2013 de <http://melca.com.ar/archivos/apuntes/Sistemas%20solares%20termicos%20de%20baja%20temperatura/FI00701C.pdf>.
- Wongsuwam, W. (2005). Forced circulation solar water heater performance prediction by TRNSYS ANN. *International Journal of Sustainable Energy*, 24(2), 69-86.