

“LA ENERGÍA SOLAR: UNA ALTERNATIVA PARA LAS EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS DE LA ZONA HUETAR NORTE DE COSTA RICA”

**Dr. Tomás de Jesús
Guzmán Hernández.
Dr. Freddy Araya Rodríguez.
Lic. Guillermo Castro Badilla.
Bach. Gonzalo Quiroz Vindas.
Dr. Javier Mauricio
Obando Ulloa.**

Área académica del Programa
de Doctorado en Ciencias
Naturales para el Desarrollo.

**Escuela de Agronomía,
Tecnológico de Costa Rica,
Sede Regional de San Carlos.**

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. La Tierra recibe 174 petavatios de radiación solar entrante (insolación) desde la capa más alta de la atmósfera. Aproximadamente el 30% de esta radiación regresa al espacio, mientras que las nubes, los océanos y las masas terrestres absorben alrededor de 3 850 000 exajulios por año.

Esta radiación absorbida es aprovechada por el ser humano desde la Antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando. En la actualidad, el calor y la luz del Sol pueden aprovecharse por medio de diversos captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias que podrían ayudar a resolver algunos de los problemas más urgentes que afronta la humanidad.

La Agencia Internacional de la Energía (IEA) indicó que el desarrollo de tecnologías solares limpias, baratas e inagotables supondrá un enorme beneficio a largo plazo, ya que aumentará la seguridad energética de los países mediante el uso de una fuente de energía local, inagotable e independientemente de importaciones. Con este tipo de energía, se beneficiará la sostenibilidad, ya que la contaminación se reduciría y en términos económicos se disminuiría los costos de la mitigación del cambio climático, evitando el excesivo incremento de los precios de los combustibles fósiles. De esta manera, los costos para su incentivo y de-

sarrollo deben ser considerados inversiones, los cuales deben ser realizados de forma correcta y ampliamente difundidos (IEA, 2011).

Dentro de las tecnologías desarrolladas actualmente para el aprovechamiento de la energía solar, sobresalen las células fotovoltaicas que son dispositivos semiconductores que producen corriente eléctrica directamente de la radiación solar o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina. Según informes de la organización ecologista Greenpeace, la energía solar fotovoltaica podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en el año 2030, lo que reduciría la dependencia energética de combustibles fósiles y contaminantes como el petróleo (Landa, 2005; Roman, 2007; Rizk y Nagrial; 2008; Torpey, 2009; Tinajeros, 2011; Swift, 2011).

Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales y su eficiencia ha aumentado, lo cual ha ocasionado que el costo medio de generación



Sistema solar térmico termosifónico híbrido con resistencias eléctricas, de izquierda a derecha y sistema fotovoltaico de 2 K, montados en la lechería del Instituto Tecnológico de Costa Rica y que abastece a los laboratorios de Biocontroladores y Calidad de carne de la Sede Regional.



Sistema solar térmico termosifónico híbrido con resistencias eléctricas, instalado en la lechería de la Escuela Técnica Agrícola e Industrial de San Clara.

eléctrica por medio de la energía fotovoltaica, sea competitivo con el de las energías no renovables. A su vez, esto ha hecho que este tipo de energía haya ganado popularidad, tanto a nivel doméstico como industrial (Ekström et al., 2016).

Según el VI Plan Nacional de Energía 2012-2030 del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), Costa Rica es un país rico en recursos naturales renovables que podrían utilizarse con fines energéticos. Sin embargo, el país basa su desarrollo en el uso de los derivados del petróleo, por lo que el crecimiento del consumo de hidrocarburos en los últimos 20 años ha sido del 4,7% anual y el de la electricidad de 5,3% anual. Debido a esto, el MINAET, en su I Plan Nacional de Energía 2012-2030 se ha planteado promover programas de ahorro energético en los macro-consumidores, ya que el país cuenta con un potencial teórico de energía solar de 10000 MW, cuyo grado de utilización es mínimo (MINAET, 2011).

Guzmán (2014) plantea que los sistemas solares térmicos y fotovoltaicos pueden ser usados en sistemas agropecuarios y en unidades de producción del sector (lecherías, plantas de matanza,

empacadoras y plantas procesadoras), en forma de autoconsumo para bajar los costos por facturas eléctricas y disminuir la huella de carbono del sector ganadero. A su vez, Guzmán e Iglesias (1986, 1987, 1989, 1991 y 1999) plantean la necesidad de aplicar estos sistemas a unidades de producción agropecuaria para controlar enfermedades y plagas en cultivos económicos.

Aunado a esto, Berriz (2012) afirma que los países que dispongan de radiación solar suficiente, utilicen estos sistemas. Por otra parte, Matthews (2006) plantea que la ganadería genera más gases de efecto invernadero (GEI) que el transporte, por lo que urge aplicar tecnologías que minimicen este impacto generado en los procesos productivos del sector.

Ante esta situación, urge aplicar tecnologías que minimicen este impacto generado en los procesos productivos del sector ganadero, ya que en la Zona Huetar Norte de Costa Rica existe una gran cantidad de productores de leche, así como invernaderos de producción de hortalizas y de plantas ornamentales, productores de semillas y de otros tipos, que usan de manera sistemática agua o aire caliente en sus unidades, recursos que

son calentados a través de resistencias eléctricas, con intercambiadores térmicos, de gas y otras funciones con combustible fósil.

Específicamente, en el cantón de San Carlos se encuentra el 55% de los asociados de la Cooperativa de Productores Dos Pinos R.L., quienes producen más del 50% de demanda nacional (0,6 millones de kilos de leche). Entre los procesos productivos del sector ganadero y lechero que genera huella de carbono se encuentra el consumo eléctrico de las plantas agroindustriales relacionadas, ya sean lecherías u otras, por lo que se han estudiado las alternativas y estrategias de eficiencia energética, oportunidades y potencial presentes en la zona y se puede optar por la tecnología solar como alternativa viable y efectiva. El último estudio del ICE indica que las dos mejores zonas de radiación solar en el país, son la Zona Huetar Norte (San Carlos) y la zona Chorotega (Guanacaste) (Portilla 2014).

En este sentido, el Programa de Producción Agropecuaria de la Escuela de Agronomía de la Sede del Tecnológico de Costa Rica (ITCR) en San Carlos, por su vocación agropecuaria, especialmente lechera y ganadera, ha apostado por la utilización e introducción de

la energía solar, su adecuación y validación, por lo que instaló (con fines didácticos y demostrativos), un sistema fotovoltaico en su lechería y en otras plantas procesadoras de leche relacionadas directamente con esta Sede para evaluar la eficiencia de los sistemas solares de captación térmica para el calentamiento de agua y producción de energía en unidades de producción agropecuarias.

Metodología

En las unidades de producción seleccionadas se diseñaron y se instalaron tres sistemas solares termosifónicos y/o forzados, según el caso (Cuadro 1). Para efectos de este trabajo, se presentan los datos de la lechería de la Sede Regional del ITCR, durante los meses de mayo a diciembre de 2015, mientras que para los otros se presenta

un avance de su operación, ya que aún se encuentran en etapa de acondicionamiento para la recolección de los datos a través de un sistema Arduino con termopares o datalogger especializados.

Cuadro 1. Sistemas de captación de energía solar instalados en las unidades productivas de leche en la zona de San Carlos.

Unidad Productiva	Sistema instalado	Avance de operación
Lechería de la Sede Regional del ITCR	Termosifónico con sistema auxiliar eléctrico	Desde mayo de 2015
	Sistema fotovoltaico de 2K	Desde mayo de 2015
Escuela Técnica Agrícola e Industrial (ETAI)	Termosifónico con sistema auxiliar eléctrico	Desde octubre de 2015
Productores de lácteos LLAFRAK (Juanilama de Santa Rosa de Pocosol)	Térmico forzado, híbrido con sistema auxiliar de gas	Desde diciembre de 2015

El sistema de captación de energía solar de tipo térmico termosifónico, instalado tanto en la lechería de la Sede Regional del ITCR como en la lechería de la Escuela Técnica Agrícola e Industrial (ETAI), se define como el movimiento del agua por

efecto de la gravedad y el calentamiento de éstas se produce por la radiación electromagnética solar. En este sistema, cuando el agua se calienta, se dilata y su densidad disminuye, lo que hace que entre al sistema más densa y por la gra-

vedad, el agua caliente sube y se almacena en un depósito. Esto se produce al interior del colector solar como parte de un intercambio de calor por convección (Figuras 1).

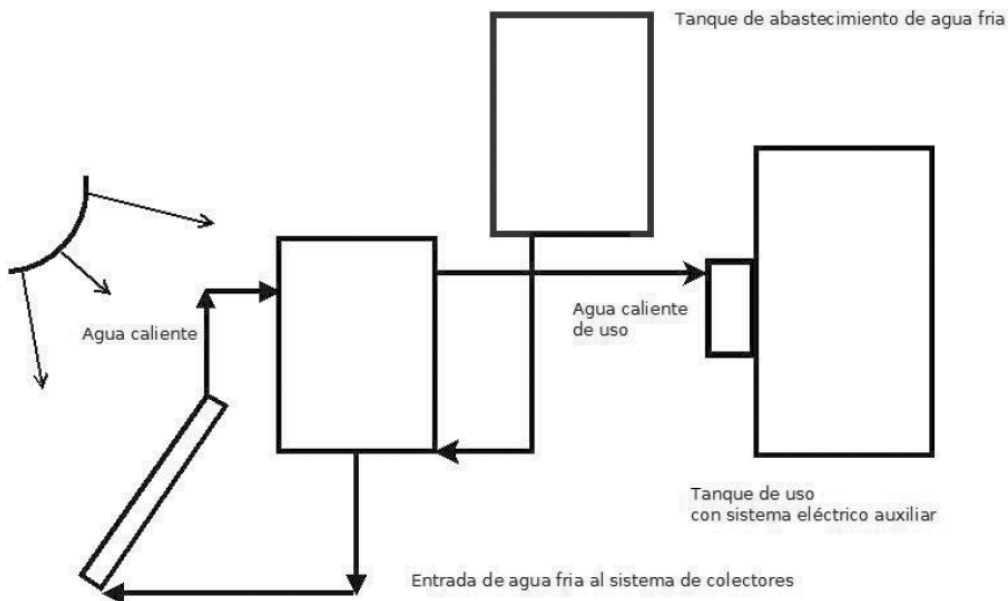


Figura 1. Sistema termosifónico de captación térmica instalado en la lechería de la Sede Regional del ITCR y en la Escuela Técnica Agrícola e Industrial de Santa Clara.

El sistema solar forzado, al igual que el sistema termosifónico, dispone de los mismos elementos, dispuestos de manera diferente y con equipos adicionales. Este sistema 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 (Fig. 2).

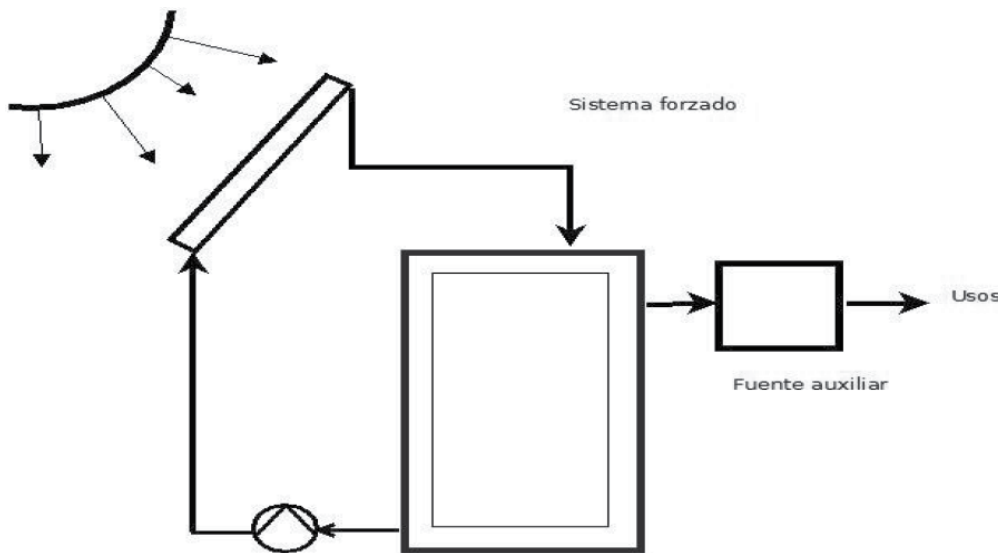


Figura 2. Sistema de captación de energía solar de tipo forzado híbrido, instalado en la planta de procesamiento de la Asociación de la Asociación de Productores de Lácteos LLAFRAC en Juanilama, Santa Rosa de Pocosol. En esta figura se presenta el detalle del termómetro que indica la temperatura que alcanza el agua al salir del sistema.

En general, ambos sistemas cuentan con 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 en su interior para la conexión de termopares, los cuales están conectados a una computadora para registrar los datos de captación de energía y el uso del agua. Además, este tanque posee 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 sistema de tuberías de conexión a los equipos para esterilización, termómetros y equipos de medición inalámbricos, sistemas auxiliares eléctricos y de gas.

Una vez instalados todos los sistemas se procedió al registro de la masa de agua fría y agua caliente

captada por el sol, cálculo del diferencial (ahorro) con 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, cuyos datos son proporcionados anualmente en Costa Rica por la Internacional Energy Agency (IEA).

El calor (Q) producido por el sistema se calculó por medio de la ecuación:

$$Q = C_p \cdot y \cdot V \cdot \Delta T$$

donde **Q** corresponde a la energía requerida para que se dé el cambio de temperatura en (kJ), **C_p** es el calor específico del agua (en este caso

se utilizó un valor de 4,18 kJ/ K· kg), y corresponde a la densidad del líquido (1000 kg/m³), **V** el volumen de líquido en m³ (correspondiente a la capacidad de almacenamiento del sistema, la cual oscila entre 150 y 200 L) y **ΔT** es la variación de la temperatura (T, en grados Kelvin), calculada por la diferencia entre la temperatura alcanzada por el agua en el sistema (T_r) y la T de entrada o ambiente (T_i). Los resultados de este cálculo se expresaron en las unidades correspondientes del SI, por medio de las conversiones respectivas. En caso de no contar con el valor de la T_r alcanzada por el agua en el sistema, se calculó su estimación por medio de los valores de Q producido por el sistema, registrados diariamente en el sitio web <https://enlighten.enphaseenergy.com> (Enphase Energy Inc., Petaluna CA, EE.UU.)

Sistema de calentamiento de agua en la Asociación de productores de lácteos de LLAFAK, antes de implementar el sistema solar.



Marmita transformada para intercambio de calor con el sistema solar forzado híbrido, con uso de gas.



Marmita en operación de pasteurización de leche, con el sistema solar forzado híbrido



Sistema solar forzado híbrido montado en la Asociación de productores de lácteos de LLAFAK



Resultados

Como se mencionó anteriormente, la Zona Huetar Norte es una de las dos mejores zonas con radiación solar en el país (Portilla 2014). De acuerdo con los datos obtenidos a través del software Enphase y registrados diariamente en su sitio web (<https://enlighten.enphaseenergy.com>), esta zona presenta una producción máxima promedio de aproximadamente 0,25 kWh, específicamente cuando el sol está en el cenit (entre las 11 y 12 h), según se presenta en la Figura 5.

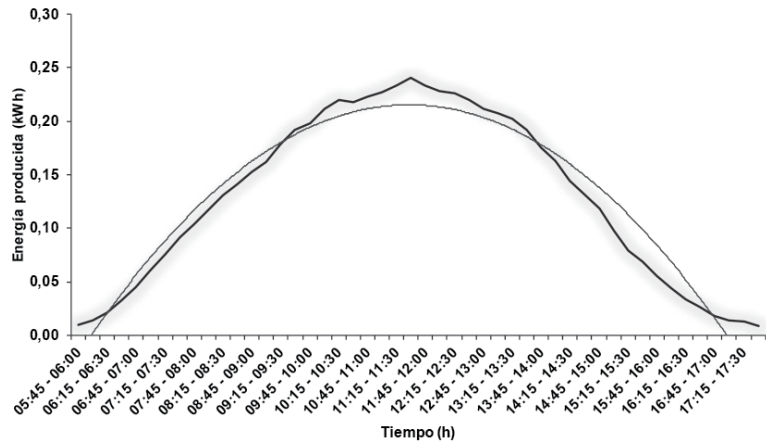


Figura 5. Producción horaria promedio de energía solar durante el día en la Zona Huetar Norte de Costa Rica, de acuerdo con los datos registrados en el sitio web <https://enlighten.enphaseenergy.com>.

Esta zona genera una producción diaria promedio de energía solar de aproximadamente 7 kWh, una producción mensual promedio de aproximadamente 187 kWh, con lo cual se produce una reducción de emisión gases de efecto invernadero de aproximadamente 285 lb CO₂ durante los meses de agosto, octubre, noviembre y diciembre de 2015 (Figura 6; Tabla 2).

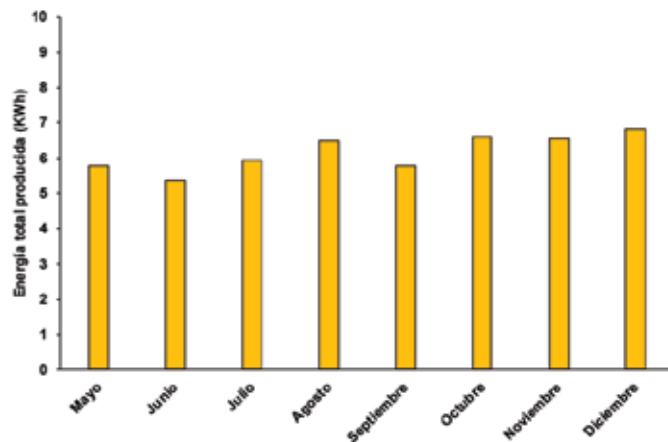


Figura 6. Energía solar promedio producida diariamente en la Zona Huetar Norte de Costa Rica, de acuerdo con los datos registrados en el sitio web <https://enlighten.enphaseenergy.com>, del sistema de 2K instalado en la lechería del ITCR.

Tabla 2. Producción total de energía solar y reducción de dióxido de carbono durante los meses de mayo a diciembre de 2015 en la lechería del ITCR.

Mes	Energía total producida (kWh)	Reducción de emisión de dióxido de carbono (lb CO ₂)
Mayo	179	272
Junio	161	246
Julio	184	280
Agosto	201	306
Septiembre	173	264
Octubre	189	288
Noviembre	196	299
Diciembre	212	322

Con la producción de energía solar con el sistema termosifónico se ha logrado satisfacer cerca del 90% de la energía necesaria para elevar la temperatura del agua para las operaciones realizadas en la lechería de la Sede Regional del ITCR y de la ETAI (Figuras 5 y 6). En la Figura 7 se presenta tan sólo un avance de la eficiencia del sistema forzado híbrido para satisfacer la demanda de agua caliente para las operaciones de la planta de Productores de Lácteos LLAFRAK. De acuerdo con esta figura, el sistema ha logrado suplir cerca del 60% de la energía requerida para el calentamiento del agua para las operaciones de esta planta.

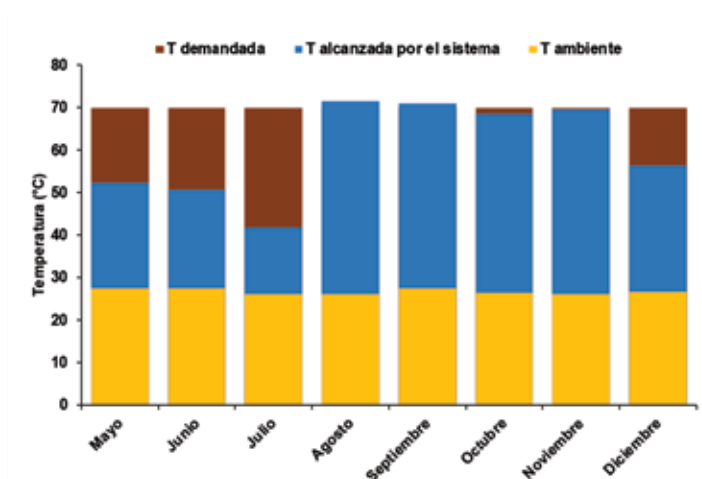


Figura 7. Eficiencia del sistema termosifónico en el calentamiento de agua para las operaciones realizadas en la lechería de la Sede Regional del ITCR.

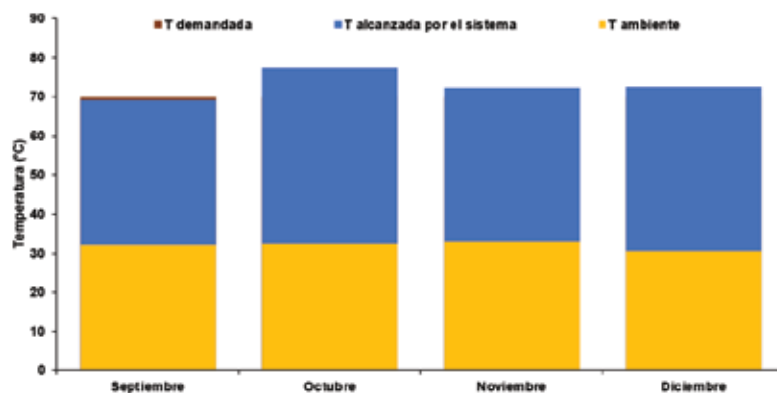
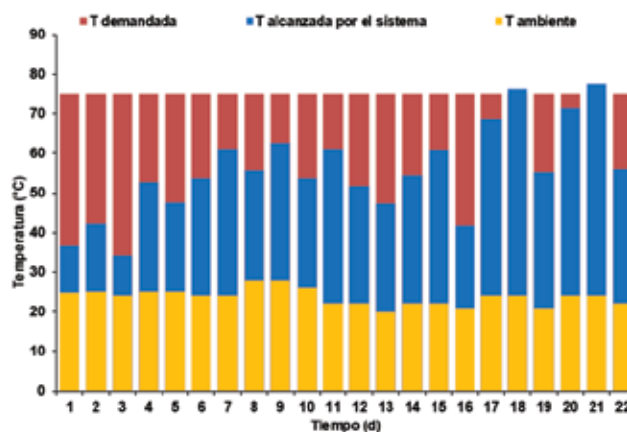


Figura 8. Eficiencia del sistema termosifónico en el calentamiento de agua para las operaciones realizadas en la lechería de la ETAI.

Figura 9. Eficiencia del sistema forzado híbrido en el calentamiento de agua para las operaciones realizadas en la planta de Productores de lácteos LLAFFRAK.



Conclusión

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, se puede comprobar que la energía solar térmica y fotovoltaica es una alternativa para satisfacer, de una forma más limpia y eficiente, los requerimientos energéticos necesarios para la operación de las explotaciones ganaderas de la Zona Huetar Norte de Costa Rica, lo cual a su vez repercute en la eficacia económica de estas explotaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Berriz, P. L. 2012. La energía solar: base para el desarrollo sostenible. *Energía y Tú* 58: Abril -junio de 2012.
- Ekström, J.; Koivisto, M.; Millar, J.; Mellin, I.; Lehtonen, M. 2016. A statistical approach for hourly photovoltaic power generation modeling with generation locations without measured data. *Solar Energy* 132: 173-187.
- Guzmán, T. 2014. Uso de tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar en actividades económicas agropecuarias en Costa Rica. En: *Memorias Congreso Internacional Clima, Agua y Energía, pilares para el desarrollo sostenible*. Universidad Nacional Campus Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. pp. 67-84.
- International Energy Agency (IEA). 2011. *Solar Energy Perspectives: Executive Summary*.
- Landa, M. 2005. Energía solar en España. Disponible en http://www.consumer.es/web/es/medioambiente/energia_y_ciencia/2005/01/11/114942.php. Consultado el 10 de febrero de 2013.
- Matthews, C. 2006. La ganadería amenaza el medio ambiente. FAO. Disponible en <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>. Consultado el 12 marzo de 2013.
- 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.
- Rizk, J.; Nagrial, M.H. 2008. Impact of reflectors on solar energy systems. *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering* 5: 743-747.
- Roman, H. 2007. Here comes the sun. Residential solar systems. *Power energy*. Disponible en www.techdirections.com. Consultado el 10 de febrero de 2013.
- Swift, K.D. (2011). Is a solar energy system right for your organization? *Management Accounting Quarterly* 12: 38-47.
- 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* 53: 34-35.