

## **“LA ENERGÍA SOLAR EN SISTEMAS AGROPECARIOS. RESULTADOS DE UN PROGRAMA LOCAL PILOTO EN LA ZONA NORTE DE COSTA RICA”**

Tomás de Jesús Guzmán Hernández; Freddy Araya Rodríguez; Guillermo Castro Badilla.

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional de San Carlos, Costa Rica.

Correo electrónico: [tjguzman@itcr.ac.cr](mailto:tjguzman@itcr.ac.cr),

### **RESUMEN**

En la actualidad se debe trabajar en la aplicación de energías limpias, como alternativa para la adaptabilidad al cambio climático, para mitigar el efecto de invernadero.

El presente trabajo ha logrado diseñar, construir, instalar y comenzar a generar datos que muestren la potencialidad de la generación energética, a partir del uso de la energía solar en actividades agropecuarias en la región Huetar Norte de Costa Rica a través del uso de la energía solar térmica en sistemas termosifónicos y forzados, así como la generación de corriente a través de un sistema fotovoltaico.

Las unidades productivas seleccionadas son: dos lecherías y dos plantas de producción de quesos de la zona Norte. El uso de estos sistemas nos permite lograr el autoconsumo en energía eléctrica entre un 30-50 por ciento del consumo de la unidad productiva.

En el caso de la producción de energía para calentar el agua con el sistema solar nos aporta entre los 20 y 37 C<sup>0</sup>, por día. Con esas temperaturas se suministran más del 50 por ciento de la energía requerida para elevar la temperatura del agua hasta los 70 C<sup>0</sup> demandados por el sistema de lavado y esterilización de equipos de ordeño y otros.

Además, se ha instalado un equipo de transmisión de datos inalámbricos que registran el uso de la energía de los tanques térmicos, así como de la producción de energía eléctrica.

Se muestran los resultados de correlación entre producción potencial de energía solar, factura eléctrica, y la generación de agua caliente, para los meses de mayo a noviembre y los modelos matemáticos ajustados a ambos sistemas

Este uso nos acerca a una producción sostenible en Costa Rica, así como una reducción importante de la huella de carbono en los sistemas de producción animal en el país.

Palabras claves: Energía solar, sistemas térmicos y fotovoltaicos, empresas agrícolas, productores de leche y procesamiento de quesos.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad uno de los grandes desafíos a los que se enfrenta la humanidad es el denominado cambio climático; el continuo deterioro del medio ambiente está amenazando el acceso a recursos no renovables y el bienestar de las próximas generaciones. En el sector agropecuario es bien sabido que la producción de ganado bovino, tanto de leche como de carne, constituye un importante reto en cuanto a establecer sistemas productivos reduciendo las emanaciones de gases de efecto invernadero jugando un papel importante en el fenómeno de calentamiento global (Estrada 2001, Montenegro 2002 y Conde 2007).

Estudios realizados en Costa Rica indican que en promedio se emiten 2,3 KgCO<sub>2</sub>e/ Kg FPCM (contenido de grasa y proteína corregido por la producción total de leche) y 11,5 KgCO<sub>2</sub>e/Kg Carne. Para observar diferencias entre sistemas en el año 2011 se realizó una investigación sobre huella de carbono a través del ciclo de vida del sistema para los productores de leche en la zona de Santa Cruz de Turrialba. Los resultados obtenidos señalan que se emite en promedio 1,2 KgCO<sub>2</sub>e/ Kg FPCM, estas emanaciones de CO<sub>2</sub> equivalente podrían variar de acuerdo a condiciones climáticas, sistemas productivos y factores de emisión utilizados en la construcción de la huella de carbono, (INTECO 2006, FAO 2009-2015 e IMN 2015).

Se entiende por huella de carbono de los productos (PCF) como el instrumento producto de un cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de un bien o servicio de la cadena de suministros en su totalidad, contemplando desde la extracción de las materias primas, los procesos de producción e inclusive hasta la utilización de los consumidores. Dicha huella se cuantifica en CO<sub>2</sub> equivalente, dichas emanaciones pueden ser directas o indirectas y siendo cuantificables mediante normativas internacionales tales como el ISO 14064, PAS 2050 entre otras.

Según el VI Plan Nacional de Energía 2012-2030 del Ministerio de Ambiente y Energía y Telecomunicaciones, Costa Rica es un país con un alto potencial en recursos naturales renovables que podrían utilizarse con fines energéticos, sin embargo, nuestro país basa su desarrollo en el uso de los derivados del petróleo. El crecimiento promedio del consumo de hidrocarburos en los últimos 20 años fue del 4,7% anual y el de la electricidad del 5,3% anual (MINAET, 2011).

Cada fuente de energía tiene un potencial de emisiones de CO<sub>2</sub> diferente, por lo que, la composición de la matriz de la oferta de energía y las tecnologías de los equipos de consumo (vehículos, equipos industriales y agrícolas, entre otros) determinarán el nivel de emisiones del sistema energético del país. Ante la gran dependencia energética de los combustibles fósiles, cuyo

consumo produce altos niveles de emisiones, es necesario impulsar medidas de uso racional y eficiencia energética, entonces podemos decir que la tendencia internacional de uso de energía, según la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA 2013), citada por MINAET (2011), plantea una mayor participación de fuentes renovables en la matriz energética mundial, como por ejemplo la energía geotérmica, solar, eólica y biomasa; así un descenso en el uso de las no renovables como carbón, petróleo y gas. Sobre la base de estos planteamientos, queda clara la necesidad de optar por sistemas de producción que utilicen fuentes renovables de energía.

Costa Rica, tal y como aparece en el VI Plan Nacional de Energía 2012-2030 (MINAET 2011), presenta un potencial teórico en el caso de fuente solar de 10 000 MW, del cual el grado de utilización es mínimo, aproximadamente 0,14 MW. Ante esta situación y enmarcados en la línea de acción de la estrategia 2.2 del MINAET para el sector Energía: *“Promover programas de ahorro energético en los macro-consumidores”*, en este trabajo se propone aplicar en los sistemas productivos lecheros y lácteos el uso de la energía solar tanto para el calentamiento de agua, la pasteurización, así como en la utilización de equipos fotovoltaicos que generen corriente eléctrica dentro del sistema.

Según el INTA (2011) *“Mitigar es pensar cómo la producción de carne y leche debe mejorar su eficiencia energética para reducir las emisiones de GEI por unidad de producto”*. Siendo así que es imperativo el aplicar tecnologías que minimicen este impacto generado por los procesos productivos del sector. La ganadería es responsable del 18% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) de acuerdo al informe presentado por la FAO sobre el impacto ambiental de esta actividad (Matthews 2006, Abarca1997).

En el cantón de San Carlos se encuentran el 55% de los asociados de la Cooperativa de Productores de leche, “Dos Pinos RL”, con un total de 850 productores y una producción de más del 50% de la producción nacional 0.6 millones de kg de leche, (Paniagua 2005, Lorente 2010).

Sobre la base de lo anteriormente, planteado, el equipo de investigación ha estudiado las alternativas y estrategias de eficiencia energética, oportunidades y potencial presentes en la zona y ha decidido optar por la tecnología de captación de solar como una alternativa viable y efectiva para la generación y uso de energía eléctrica y calórica de origen renovable.

La energía del sol puede utilizarse en el país con ventajas en aplicaciones en pequeña y gran escala. En el caso de la zona Norte, existen una gran cantidad de productores de leche y de lácteos en pequeñas y medianas empresas que usan de manera sistemática agua caliente en sus unidades,

calentadas a través de resistencias eléctricas, con intercambiadores térmicos, kerosene, bunker y gas.

Este trabajo se centró en la captación de la energía solar para hacer estos sistemas de producción más amigables con el ambiente.

Las tecnologías de uso de la energía solar están disponibles, y en uso en otros sectores y países, es confiable y sólida para la asimilación por los productores; el coste de inversión es asequible y los plazos de recuperación y amortización de la inversión son atractivos. Definitivamente se necesita la validación de esta tecnología en la región e introducirla en los procesos de innovación por parte de los productores lecheros y lácteos en la zona Norte.

Los objetivos del trabajo, han sido, diseñar, implementar y evaluar tres sistemas solares de captación térmica (termosifónico y forzado) y fotovoltaica para el calentamiento de agua y producción de energía eléctrica en lecherías y productores de lácteos de la región Huetar Norte de Costa Rica y transferir los resultados a través de un programa de capacitación a productores y estudiantes sobre el uso de sistemas solares térmicos y fotovoltaicos en los sistemas agropecuarios, como un programa local piloto.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La ubicación de los productores de leche y de lácteos, se presentan en la tabla 1.

Dichas lecherías corresponden a productores asociados a la Cooperativa de Productores de Leche “Dos Pinos”, y productores independientes, cuyo gasto de agua caliente está entre 160 y 215 l/día a una temperatura de uso de 70<sup>0</sup> C.

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

Lechería/Productores de lácteos	Ubicación	Equipo instalado
1. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional de San Carlos (ITCR-SSC)	Zona Norte, Florencia	Solar térmico termosifónico híbrido y sistema fotovoltaico
2. Escuela Técnica Agrícola e Industrial (ETAI)	Zona Norte, Florencia	Solar térmico termosifónico híbrido
3. Productores de lácteos LLAFRAK de Juanilama de San Rosa de Pocosol	Zona Norte	Solar térmico forzado

El trabajo se desarrolló entre los meses de febrero a diciembre del año 2015, registrándose los datos, desde un sistema computarizado provenientes de los sistemas de captación solar para la gestión/producción de energía/consumo de los sistemas termosifónicos, forzados y fotovoltaicos, desde mayo a diciembre. La característica productiva de cada unidad se puede apreciar en la tabla 2.

Tabla 2. Características productivas y económicas de las lecherías y de los productores de lácteos en las cuales se realizó el trabajo en las region Huetar Norte.

Lechería	Área	Kg leche	Volumen diario de uso de agua caliente	Volumen de agua caliente anual	Factura de agua anual	Factura eléctrica / anual en colones
ITCR-SSC	24 ha	500 kg	160 l / día	58.40 m <sup>3</sup>	¢ 262 800 \$ 486.50 USD	¢ 1 800 000.00 \$ 3 333.30 USD
ETAI	36 ha	550 kg	120 l / día	43.80 m <sup>3</sup>	¢ 197 100.00 \$ 365.00	

					USD	
Lácteos	30	650 kg	215 l/día	78.47 m <sup>3</sup>	¢ 353 137.50	¢ 1 680 000.00
LLAFRAK					\$ 653.95 USD	\$ 3 111.10 USD

### Descripción de la investigación

En este trabajo de investigación, se diseñó, se construyó e implementaron tres sistemas solares a saber: dos termosifónicos, uno forzado y un sistema fotovoltaico. Se realizó el análisis, diseño e implementación de la infraestructura de captación de datos computarizados, para la gestión/producción de energía/consumo de los sistemas, a través de termopares y con data logger.

Una vez ensamblados los sistemas se procedió a la toma de datos mediante el monitoreo de variables tales como iluminación, nubosidad, horas de luz, radiación solar directa y difusa, masa de agua calentada, temperatura del agua a la entrada y la salida del sistema, energía producida y su balance neto.

Los módulos instalados con los sistemas térmicos, contaron con las siguientes especificaciones: Colectores solares planos de calentamiento de agua. Tanque acumulador de 302,40 l de agua, con sistema eléctrico auxiliar acoplado. A este tanque se le dejaron tres previstos interiores para conexión de termopares. Estos termopares estarán se conectaron a una computadora que registró los datos de captación de energía y el uso del agua a través de un medidor. Válvula de escape. Válvula de conexión del sistema solar con el sistema auxiliar eléctrico. Sistema de tuberías de conexión a los equipos para esterilización. Base de montaje. Instalaciones varias de ajustes de acuerdo a la unidad que consumirá el agua caliente. Tanque elevado, en el caso de que sea necesario. Termómetros.

El sistema fotovoltaico contó con las siguientes especificaciones: Paneles solares fotovoltaicos, conectado a la red, destinado a autoconsumo. Regulador de carga. Inversor. Instalaciones varias de conexión. Base de montaje en suelo.

Además, se contó con un equipo adicional para el correcto establecimiento y ejecución de la investigación y medición de los parámetros energéticos: Un Módulo de medición de datos meteorológicos digital para la Sede Regional de San Carlos. Un CPU, como equipo servidor de base

de datos, unidad de respaldo de datos, monitores, teclados y cables de conexión. Módulos de medición de datos meteorológicos según zona o coordinación con el Instituto Meteorológico Nacional.

Finalmente se generaron los datos que permiten poder utilizar modelos matemáticos de regresión lineal simple y múltiples que correlacionen, datos meteorológicos de radiación, iluminación de luz solar directa, difusa, temperaturas mínimas, medias y altas con la captación de energía en el sistema y su uso constante bajo las condiciones climáticas en la región Huetar Norte de Costa Rica.

### Definición de variables a evaluar

Las variables que se analizaron fueron: Determinación del potencial real de la captación y generación de energía calórica y eléctrica a partir de energía solar en el cual se evaluaron las variables que se detallan en la tabla 3.

Tabla 3. Descripción de las variables a evaluar para la determinación de la eficiencia energética y disminución de costos de producción mediante la aplicación de energía solar en actividades económicas agropecuarias como alternativa al cambio climático en la región Huetar Norte

Tipo	Variable	Método de obtención	Frecuencia	Periodo de evaluación
1. Uso de los sistemas	1.1. Temperatura media de entrada de agua fría	Sensores computarizados	Diaria, mensual	Feb-dic 2015
	1.2. Temperatura de salida de los colectores			
	1.3. Temperatura de entrada al tanque colector			
	1.4. Temperatura de uso.			
Valoración Económica	2.1. Uso del agua en la lechería	Reloj de medición mecánica	Anual	2015
	2.2. Masa agua fría/caliente	Reloj de medición mecánica		
	2.3. kWh producidos/consumidos	Uso de sensores digitales		

	2.4. Diferencial económico	Recolección manual		
--	----------------------------	--------------------	--	--

De acuerdo a las variables enumeradas en el cuadro 3 se estimaron el diferencial (ahorro) de electricidad del sistema en función del uso de los sistemas solares, el balance energético de los sistemas. Se determinó la eficiencia energética y la disminución de los costos de producción. Además, se evaluó el cálculo de la disminución de la huella de carbono, mediante el producto del valor de los kWh anuales ahorrados y el valor medio de Kg de CO<sub>2</sub>.

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

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

donde Q corresponde a la energía requerida para que se dé el cambio de temperatura en (kJ), C<sub>p</sub> 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/m<sup>3</sup>), V el volumen de líquido en m<sup>3</sup> (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<sub>f</sub>) y la T de entrada o ambiente (T<sub>i</sub>). 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<sub>f</sub> 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., Petaluma CA, EE.UU.)

Finalmente se muestran los modelos matemáticos de regresión y correlación, así como las gráficas generales de uso de las temperaturas en los tres sistemas.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

Se diseñaron y adaptaron tres sistemas a saber, dos térmicos termosifónicos, uno forzado y otro fotovoltaico.

### **Sistema térmico termosifónico.**

El sistema térmico termosifónico, se define como el movimiento de un fluido (agua) que se mueve por dos factores, por la gravedad y por el calentamiento de este fluido por los rayos solares. Cuando



el agua se calienta esta se dilata y entonces disminuye su densidad, por lo que el agua que entra al sistema es más densa y esta última, unidad a la fuerza de gravedad y la disminución de la densidad, hacen subir al agua caliente y almacenarse en un depósito. Esto se produce al interior del colector solar como parte de un intercambio de calor por convección, como se muestra en la figura 1.

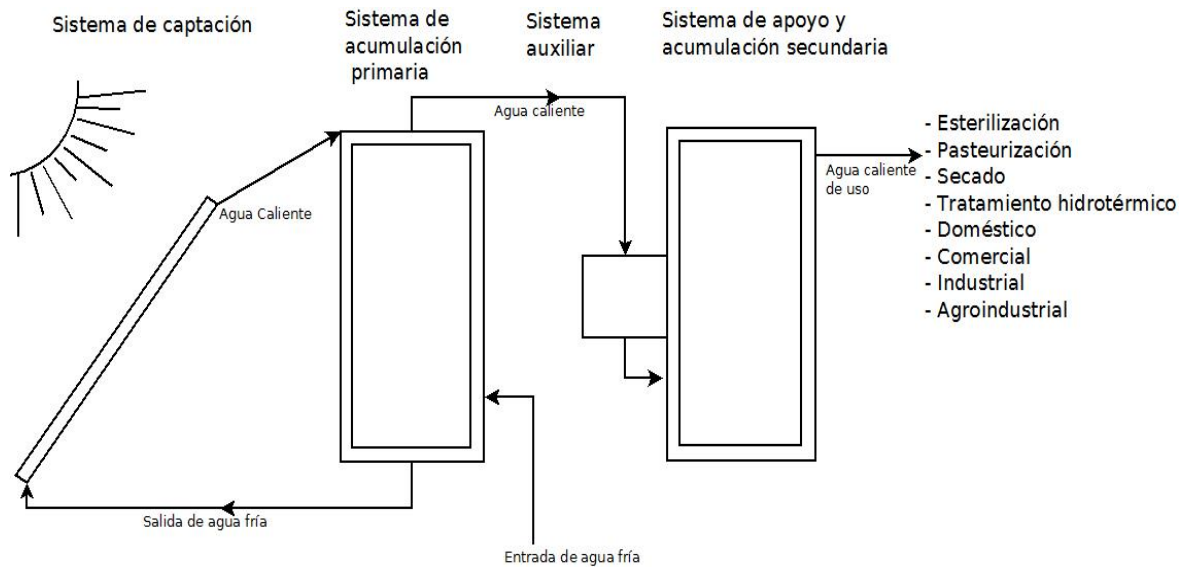


Figura 1.-Sistema básico de termosifón híbrido con resistencias eléctricas. La entrada de agua fría se produce desde un tanque elevado, por encima del sistema y el movimiento del agua se produce por gravedad y por cambio de densidad.

### El sistema solar forzado

Al igual que el sistema termosifónico, el solar forzado dispone de los mismos elementos, dispuestos de manera diferente y con equipos adicionales. Este sistema está compuesto de captadores, un acumulador solar, un grupo hidráulico, con bombas de movimiento, un sistema de regulación y un vaso de expansión, como se puede observar en el esquema técnico 2 y 3, estos resultados son similares a los reportados por RES & RUE DISEMINATION 2005 y Quirós 2011

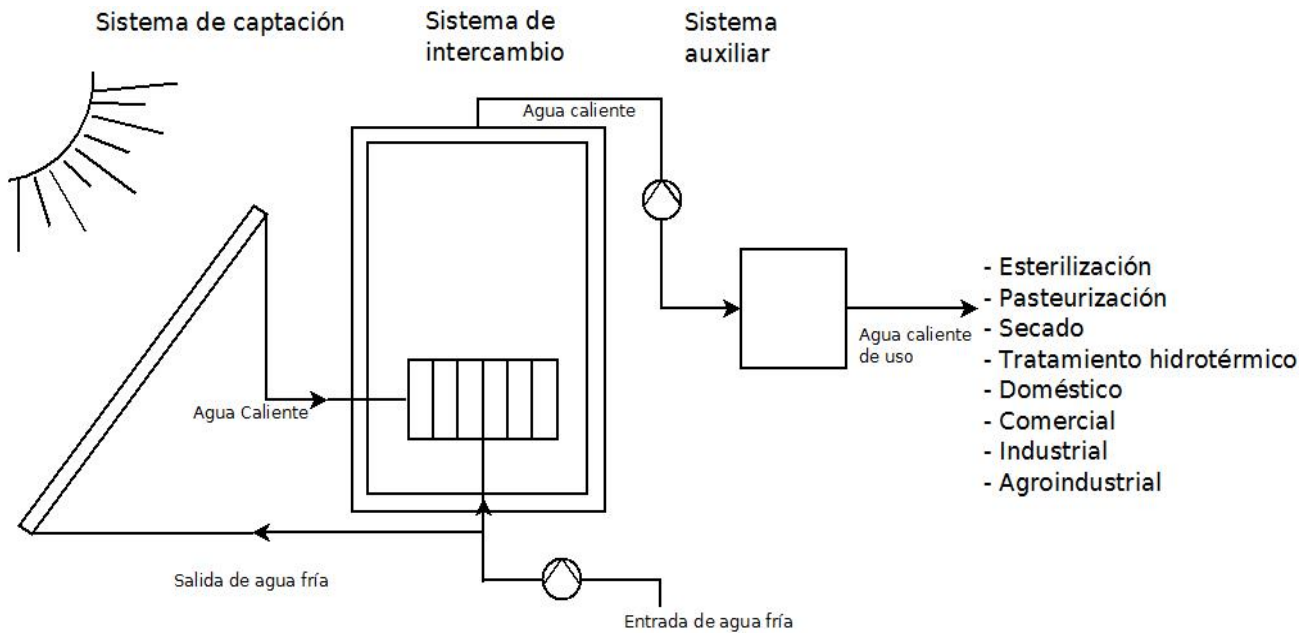


Figura 2.-Sistema forzado con sistema auxiliar de gas. La entrada de agua fría se produce desde un deposito que puede estar elevado o no y el movimiento, así como el uso del agua se produce a través de una o dos bombas según el caso y circunstancia de aplicación.

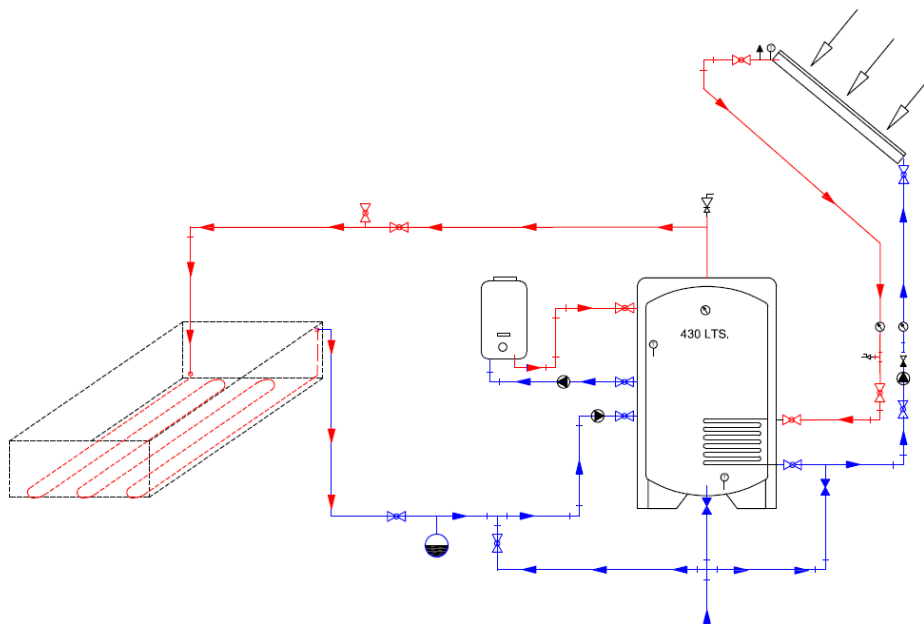


Figura 3.- Sistema de captación de energía solar de tipo forzado híbrido con gas, instalado en la planta de procesamiento de la Asociación de la Asociación de Productores de Lácteos LLAFRAC en Juanilama, Santa Rosa de Pocosol.

## Sistema de captación fotovoltaico.

La energía solar fotovoltaica, se genera a partir del uso de paneles solares especiales, que producen electricidad a partir de la radiación solar directa o difusa, mediante un semiconductor denominado célula fotovoltaica. La energía producida se puede usar en muchas aplicaciones en la actividad económica en general, en sitios aislados, para alimentar equipos entre otros, Figura 4.

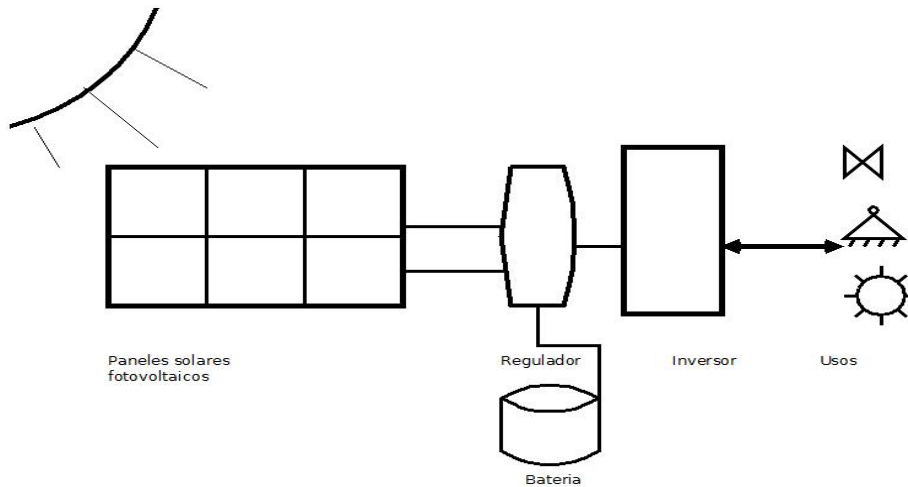


Figura 4.-Esquema básico de un sistema solar fotovoltaico.

En la zona donde se ubica la lechería de la Sede Regional del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) de la Escuela de Agronomía, perteneciente al Programa de Producción Agropecuaria (PPA), se presentaron temperaturas sobre los 25 °C desde mayo a diciembre de 2015. En el sistema térmico instalado en esta lechería se registraron temperaturas por encima de los 50 °C, a excepción del mes de julio, que fue aproximadamente de 42 °C. Los datos recolectados durante los meses de mayo a diciembre de 2015, se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Temperatura media de entrada y salida del agua en el sistema térmico, y temperatura final alcanzada, en la lechería de la Sede Regional del ITCR en el período de mayo- noviembre de 2015.

Mes	Temperatura ambiente de entrada del agua (°C)	Temperatura de salida del agua (°C)	Δ de temperatura	Temperatura demandada (°C)
Mayo	27,54	52,49	24,95	70,00
Junio	27,34	50,81	23,47	70,00
Julio	25,97	41,86	15,89	70,00
Agosto	26,09	71,71	45,62	70,00
Septiembre	27,39	71,08	43,69	70,00
Octubre	26,27	68,70	42,43	70,00
Noviembre	25,99	69,65	43,66	70,00
Diciembre	26,65	56,34	29,69	70,00

Fuente, cálculo propio.

En este sistema térmico termosifónico e híbrido, se obtuvo una producción de energía solar de aproximadamente 542,3 kWh, cuyo máximo rendimiento fue de 74 kWh/ día, esto se obtuvo 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 (tabla 5). Debido a este comportamiento, el sistema logró satisfacer por sí sólo la demanda de energía necesaria para las diferentes operaciones de la lechería de la Sede Regional del ITCR 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 5). En general, esta producción energética logró disminuir entre 40 y 50 % la energía consumida en esta unidad, considerando un requerimiento medio de 128,17 kWh.

La energía producida se traduce en un total de 1007,9 Kg CO<sub>2</sub> capturado, lo que a su vez equivale a un total de 26 árboles y a un ahorro total de ¢ 232 322.43 (\$ 434.24 USD) en la factura eléctrica de esta lechería (tabla 6).

Es importante destacar que este sistema suministra agua caliente, con temperaturas de 70<sup>0</sup> C, para los procesos de lavados y esterilización de equipos, de la lechería y los laboratorios de la Escuela de Agronomía, de Biocontroladores y el de Calidad de Carnes, ubicados de forma paralela.

Los resultados obtenidos coinciden con lo citado por otros autores, como (Eubank 1993, Montenegro 2002, Matthews 2006, Lorente 2010 y Papendieck 2010)

Tabla 5. Energía solar promedio producida mensualmente y energía suplida por el sistema térmico para la operación de la lechería de la Sede Regional del ITCR en kWh en función de las temperaturas logradas.

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

Fuente, cálculo propio.

Tabla 6. Balance energético de los sistemas térmico y fotovoltaico instalados en la lechería de la Sede Regional del ITCR

Mes	Energía total producida por ambos sistemas el térmico y el fotovoltaico en kWh	Valor económico de la energía producida (¢)*	Carbono capturado ( Kg CO <sub>2</sub> )	Árboles equivalentes (u)
Mayo	233	¢ 26.661,00	123,60	3
Junio	215	¢ 25.311,00	111,80	3
Julio	241	¢ 28.588,94	127,20	4
Agosto	273	¢ 31.108,62	139,00	3

Septiembre	263	₡ 30.321,22	120,00	3
Octubre	245	₡ 28.988,57	120,00	3
Noviembre	274	₡ 30.827,50	120,00	3
Diciembre	270	₡ 30.515,58	146,3	4
Total	2014,00	₡ 232 322,43	1007,90	26

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

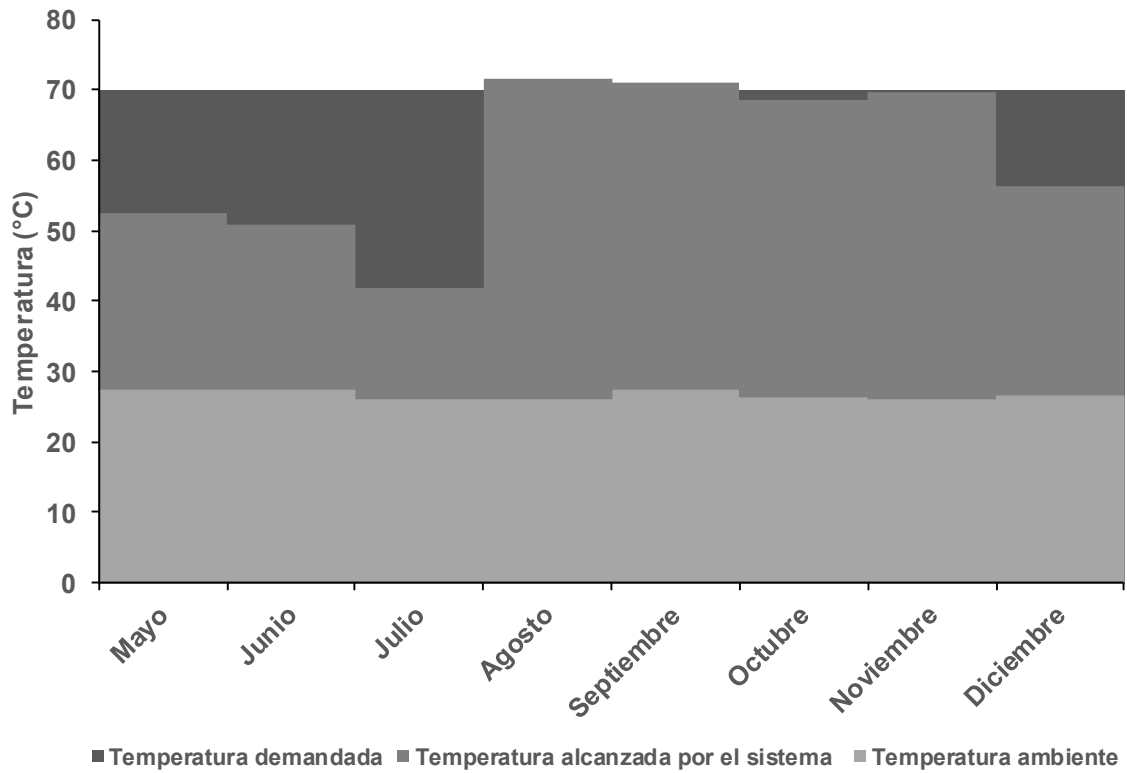
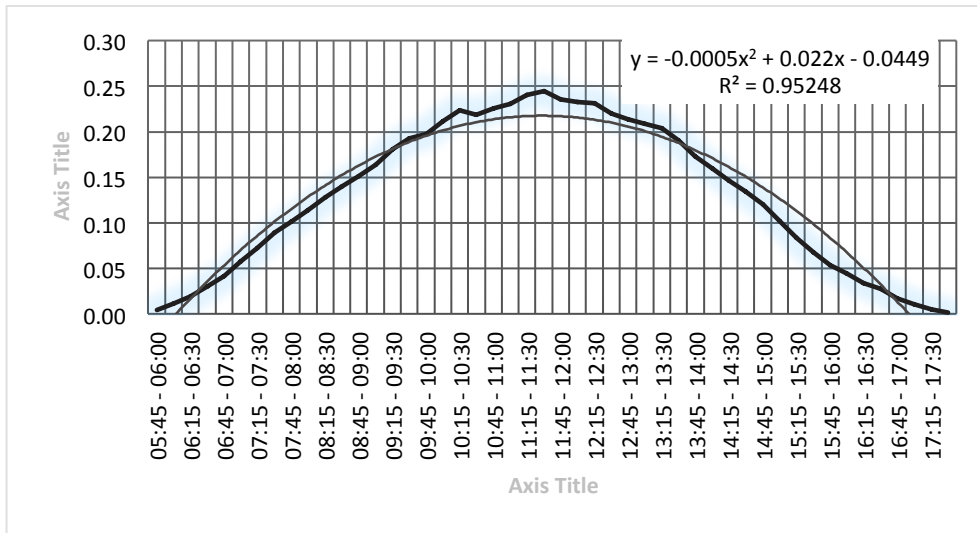


Figura 5. Promedio mensual de temperaturas ambiente, alcanzadas por el sistema y demandada para la operación de la lechería de la Sede Regional del ITCR. Fuente, cálculo propio.

### SISTEMA FOTOVOLTAICO.

La energía promedio por hora durante el día de 6.00 am y hasta las 6.00 pm, producida por el sistema fotovoltaico durante los meses de mayo-diciembre, se puede observar en la figura 6, en donde la curva de mejor ajuste nos ofrece un coeficiente de determinación del 95 por ciento, con un modelo de regresión polinomial múltiple, en donde se muestra la ganancia de energía durante todo el día.



**Figura 6.-** Generación promedio durante el día en los paneles fotovoltaicos evaluados en la lechería del ITCR Sede San Carlos desde el mes de mayo a diciembre del 2015. Fuente, cálculo propio.

De la misma manera la energía promedio por día durante cada mes evaluado, del sistema se puede observar en la figura 7 y en el cuadro resumen 7.

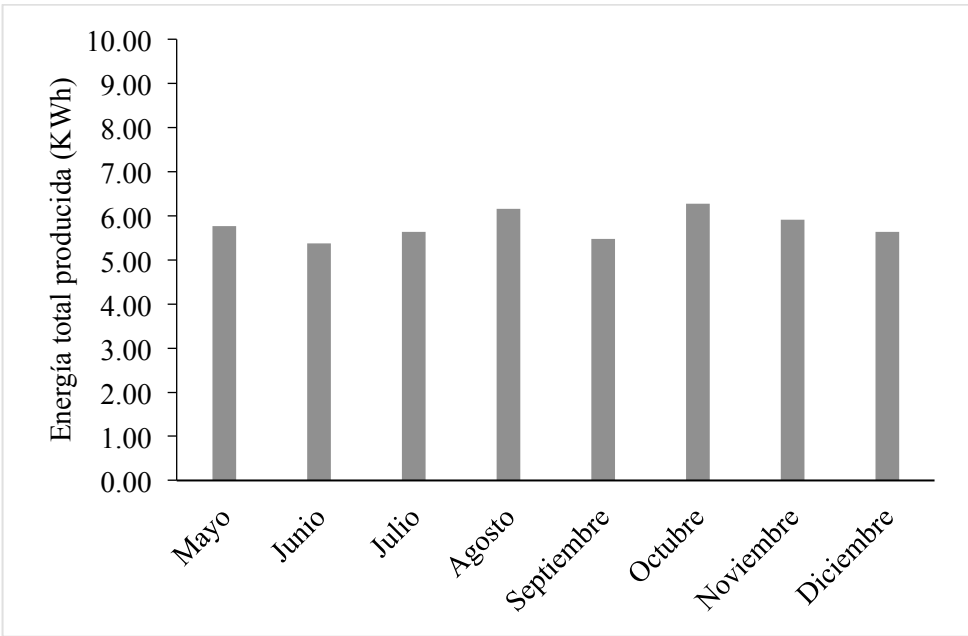




Figura 7.- Generación promedio por día y mes del sistema fotovoltaico. Fuente, cálculo propio.

<b>Sistema</b>	<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
<b>Fotovoltaico</b>	kWh/día	6.12	1.24	11.10

## **CONCLUSIÓN**

Los sistemas solares de captación térmica y fotovoltaica, se pueden usar con éxito en los procesos productivos agropecuarios de esterilización de equipos mecánicos de ordeño y en la pasteurización de leche.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la lechería de la Sede Regional del ITCR se puede observar que los sistemas de captación de energía solar son una fuente eficiente para disminuir los costos operacionales por concepto de energía eléctrica en una explotación pecuaria, así como también la huella de carbono.

La tecnología solar contribuye a la disminución de los gases de efecto invernadero, reduciendo la huella de carbono de la unidad agropecuaria relacionada con la ganadería de leche.

## **RECOMENDACIONES.**

Continuar con el registro de datos y diseñar otros sistemas solares, para seguir usándolos en los sistemas agropecuarios en otras actividades como secado de semillas, frutas, vegetales y plantas medicinales.

## **RECONOCIMIENTO**

Los autores agradecen los aportes y ayudas recibidas por parte del Programa de Regionalización Universitaria (PUR), a través de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica y al Ministerio de Agricultura y Ganadería(MAG) de la región Huetar Norte. Así como también, agradecen el apoyo financiero por parte del señor MSc. Luis Paulino Mendez Badilla, Vicerrector de Docencia y el MBA. William Vives Brenes, Vicerrector de Administración, ambos del ITCR, para la puesta en marcha de esta propuesta de trabajo. A su vez los autores agradecen toda la cooperación y ayuda recibida por parte de la Dirección Administrativa de la Sede Regional de San Carlos, MSc. Egardo Vargas Jarquín, Lic. Mildred Zúñiga Carvajal y el Bach. Dennis Mendez Palma. A la Ing. Marcela María Chavez Alvarez, por su colaboración con el programa DIA.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Abarca, S. 1997. Ganadería de carne amiga del ambiente y los bosques: una alternativa de producción sostenible (en línea). Consultado el 15 de julio de 2015. Disponible en: [http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v21n02\\_285.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v21n02_285.pdf)
- Alonso, M; Ramírez, R; Taylor, J. 2012. El Cambio Climático y su impacto en la producción de alimentos de origen animal (en línea). Consultado el 12 de junio de 2015. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111112.html>
- Conde, C; Saldaña, S. 2007. Cambio Climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación (en línea). Consultado el 06 de junio de 2015. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262014000100009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262014000100009)
- Estrada, M. 2001. Cambio climático global causas y consecuencias (en línea). Consultado el 06 de junio de 2015. Disponible en: [http://www.academia.edu/6789690/Cambio\\_clim%C3%A1tico\\_global\\_causas\\_y\\_consecuencias](http://www.academia.edu/6789690/Cambio_clim%C3%A1tico_global_causas_y_consecuencias)
- Eubank, R; Davis, A. 1993. Pasteurización de la leche. Controles y exámenes (en línea). Consultado el 20 de noviembre de 2014. Disponible en: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CDsQFjAF&url=http%3A%2F%2Fwww.salud.gob.mx%2Funidades%2Fcdi%2Fdocumentos%2FDOCSAL4935.doc&ei=BMRuVPbNO4egNrfRgsAE&usg=AFQjCNHLpzbQt35C54xiIMz\\_PnP4t-MQZA&sig2=C55R\\_w9ZP5juFEy9k6nz0A&bvm=bv.80185997,d.eXY&cad=rja](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CDsQFjAF&url=http%3A%2F%2Fwww.salud.gob.mx%2Funidades%2Fcdi%2Fdocumentos%2FDOCSAL4935.doc&ei=BMRuVPbNO4egNrfRgsAE&usg=AFQjCNHLpzbQt35C54xiIMz_PnP4t-MQZA&sig2=C55R_w9ZP5juFEy9k6nz0A&bvm=bv.80185997,d.eXY&cad=rja)
- FAO. 2009. El estado mundial de la Agricultura y la Alimentación (en línea). Consultado el 12 de mayo de 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/i0680s/i0680s.pdf>
- FAO. 2013. Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera (en línea). Consultado el 14 de junio de 2015. Disponible en: [www.fao.org/3/a-i3288s.pdf](http://www.fao.org/3/a-i3288s.pdf)
- FAO. 2015. Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura. Un manual para abordar los requisitos de los datos para los países en desarrollo (en línea). Consultado el 20 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4260s.pdf>
- FAO. sf. Ganadería y deforestación (en línea). Consultado el 20 de junio de 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0262s.pdf>
- IMN. 2015. Factores de emisión GEI, quinta edición (en línea). Consultado el 20 de julio de 2015. Disponible en: <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/factores-de-emision-gei-quinta-edicion>

- INTA (Instituto nacional de Tecnologías Agropecuarias). 2011. Ganadería y efecto invernadero: mejor producción, menos contaminación. Consultado 11 marzo del 2013. INTA Informa. <http://intainforma.inta.gov.ar/?p=6579>
- INTECO. 2006. INTE-ISO 14064-1. Gases de efecto invernadero – Parte 1: especificación con orientación, a nivel de organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. Primera Edición. San José, Costa Rica. 34p
- IRENA ( Agencia Internacional de energía renovable) (2013) [http://www.irena.org/News/Description.aspx?NType=NW&PriMenuID=16&catid=84&mnu=cat&News\\_ID=312](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. Vol 2, No 3, sep 164-177.
- López, M. 2006. Energía solar térmica (en línea). Consultado el 03 de enero de 2015. Disponible en: [http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos\\_documentos/Energia\\_Solar\\_Termica.pdf](http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos_documentos/Energia_Solar_Termica.pdf)
- Lorente, A. 2010. Ganadería y Cambio Climático: Una influencia recíproca (en línea). Consultado el 20 de junio de 2015. Disponible en: <http://web.ua.es/es/revista-geographos-giecryal/documentos/articulos/no-3-2010-art-lorente-saiz.pdf>
- Matthews, C. (2006). La ganadería amenaza el medio ambiente. Consultado 12 marzo del 2013. FAO Sala de Prensa. <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>
- Matthews, C. (2006). La ganadería amenaza el medio ambiente. Consultado 12 marzo del 2013. FAO Sala de Prensa. <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>.
- MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones). (2011). VI Plan Nacional de energía 2012-2013 (en línea). Consultado 12 de marzo del 2013. Disponible en: [http://www.dse.go.cr/es/03publicaciones/01PoliticaEnerg/VI\\_Plan\\_Nacional\\_de\\_Energia\\_2012-2030.pdf](http://www.dse.go.cr/es/03publicaciones/01PoliticaEnerg/VI_Plan_Nacional_de_Energia_2012-2030.pdf).
- Montenegro, J; Abarca, S. 2002. Los sistemas silvopastoriles y el calentamiento global: un balance de emisiones (en línea). Consultado el 12 de julio de 2015. Disponible en: [http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v26n01\\_017.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v26n01_017.pdf)
- Paniagua, W; Muñoz, G; Ramírez, C; Campos, J; Guzmán, T. 2005. Manejo Alternativo de Lecherías integradas en Sistemas Agropecuarios de bajos insumos externos. 53 p
- Papendieck, S. 2010. La Huella de Carbono como nuevo estándar ambiental en el comercio internacional de agroalimentos (en línea). Consultado el 10 de julio de 2015. Disponible en: [http://www.iica.int/Esp/regiones/sur/argentina/Documents/2011/Novedades/Huella\\_Carbono/Papendieck.pdf](http://www.iica.int/Esp/regiones/sur/argentina/Documents/2011/Novedades/Huella_Carbono/Papendieck.pdf)

Quirós, L. 2011. Calentando el agua y cuidando el ambiente (en línea). Consultado el 10 de febrero de 2013 Disponible en: <http://www.revistaconstruir.com/construccion-sostenible/836>

RES & RUE DISEMINATION. 2005. Energía solar térmica. Proyecto de circulación natural y forzada (en línea). Consultado el 10 de febrero de 2013. Disponible en: <http://www.cesu.es/temas>