

“PRODUCCIÓN MAS LIMPIA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA: CASO DEL USO DE LA ENERGÍA SOLAR”

Tomás de Jesús Guzmán Hernández; Gonzalo Quiroz Vindas; Freddy Araya Rodriguez.
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional de San Carlos, Costa Rica.

Correo electrónico: tiguzman@itcr.ac.cr, faraya@itcr.ac.cr.

RESUMEN

En la actualidad se debe trabajar en la aplicación de energías limpias tales como energía solar, el uso de biomasa y otras fuentes renovables, como alternativa para la adaptabilidad al cambio climático y la captura local de carbono, para mitigar el efecto de invernadero y lograr verdaderos sistemas limpios de producción.

El presente trabajo ha logrado diseñar, construir, instalar y comenzar a generar datos que muestren la potencialidad y la generación de eficiencia energética a partir del uso de la energía solar en actividades agropecuarias en la región Huetar Norte de Costa Rica a través de sistemas de captación de energía solar térmico para el calentamiento del agua con un sistema termosifónico y la generación de corriente a través de un sistema fotovoltaico. Ambos sistemas nos sirven para dos funciones básicas, el calentamiento de agua para diversos usos y la generación de energía eléctrica.

Las unidades productivas seleccionadas en la región Huetar Norte en donde se van a instalar estos sistemas son: Lecherías y plantas de producción de quesos de la zona Norte. Las lecherías seleccionadas son tres (una en la Sede Regional de San Carlos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR-SSC), en la lechería de la “Escuela Técnica Agrícola e Industrial” de Santa Clara (ETAI) y en un productor independiente de “Dos Pinos” y dos plantas procesadoras de quesos.

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 el agua caliente para esterilizar equipos, pasteurizar leche, entre otros usos, el sistema solar nos aporta entre los 20 y 37 C⁰, adicionales 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 C⁰ demandados por el sistema de lavado y esterilización.

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, junio y julio y los modelos matemáticos ajustados a ambos sistemas, encontrando altos niveles de correlación y coeficientes de determinación.

Otro aspecto importante de ambos sistemas es que funciona con la luz solar directa y la difusa. A su vez su 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 termosifónicos y fotovoltaicos, empresas agrícolas o productores de leche o procesamiento de quesos.

ANTECEDENTES

La tendencia internacional en uso de energía en los próximos años, según la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA 2013), debe ir a una mayor participación de fuentes renovables, como: energía geotérmica, solar, eólica y biomasa y un descenso en las no renovables: carbón, petróleo y gas.

Costa Rica, tal y como aparece en el “I Plan Nacional de Energía 2012-2030” (MINAET, 2011), presenta un potencial teórico en el caso de fuente solar de 10.000 MW, en el cual el grado de utilización es mínimo. Ante esta situación y enmarcados en la línea de acción de la estrategia 2.2 del MINAET para el sector Energía, la cuales “*Promover programas de ahorro energético en los macro-consumidores*”, el Programa de Producción Agropecuaria de la Escuela de Agronomía, ha aceptado incluir estos sistemas, como un área demostrativa, como una apuesta por la utilización e introducción de la energía solar, su adecuación y validación en una Unidad productiva y dos laboratorios de investigación.

Las lecherías de todo el país, usan agua caliente en diferentes proporciones, para desinfectar equipos de ordeño, instrumentos y tanques lecheros de enfriamiento, buscando mayor calidad en la leche y una disminución de bacterias en la misma. El agua para estos fines es calentada usando varias vías, como resistencias eléctricas, gas, diesel e intercambiadores de calor, con motores de diferentes tipos. Este uso genera una importante factura de pago de energía para los productores de leche. Con un sistema de energía renovable usando la energía solar en sistemas termosifónicos y con sistemas fotovoltaicos, esa factura disminuirá sensiblemente, entonces la producción será más eficiente y limpia y por el uso de este tipo de innovación tecnológica se reducirá considerablemente la huella de carbono, que genera la ganadería.

En este sentido es importante desarrollar estos sistemas en el ámbito de la producción agropecuaria toda vez, que los mismos son muy pocos usados en las áreas rurales y menos en unidades productivas agropecuarias, como por ejemplo las lecherías.

INTRODUCCION

Según el VI Plan Nacional de Energía 2012-2030 del Ministerio de Ambiente y Energía y Telecomunicaciones “Costa Rica es un país rico en recursos naturales renovables que podrían utilizarse con fines energéticos; sin embargo, basa su desarrollo en el uso de los derivados del petróleo (MINAET, 2011). 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.

Cada fuente de energía tiene un potencial de emisiones de CO₂ 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: energía geotérmica, solar, eólica y biomasa y un descenso en las no renovables: carbón, petróleo y gas.

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 la actividad (Matthews, 2006).

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”. Matthews (2006), plantea que la ganadería genera más gases de efecto invernadero que el transporte. Así pues, urge aplicar tecnologías que minimicen este impacto generado en los procesos productivos del sector.

En el cantón de San Carlos se encuentran el 55% de los asociados de la Cooperativa de Productores Dos Pinos, con un total de 850 productores de leche y una producción de más del 50% de la producción 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.

En la lechería de la Sede Regional, con una media de producción diaria de leche de 500 kg, la reducción de emisiones de carbono a la atmósfera con la alternativa presentada sería de 5 a 10 t por año. Extrapolando a la producción diaria de leche, tan solo en San Carlos, se presentaría un potencial de reducción de emisiones de carbono de hasta 4.380.000 t anuales. (Se estima una emisión media de 0.94 Kg de CO₂ por Kw de electricidad generado con combustibles fósiles).

La tecnología disponible ya utilizada en otras aplicaciones, 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 de ambas zonas.

El Instituto Tecnológico de Costa Rica tiene la misión de extensión para el desarrollo de la región norte con diversos planes y programas de sensibilización y capacitación en sistemas de producción limpia.

La energía del sol y su uso: La radiación solar que llega al sistema tierra - atmósfera, se conoce también con el nombre de radiación electromagnética de onda corta. Del 100 % de radiación solar, sólo un 25% llega directamente a la superficie de la Tierra y un 26% es dispersado por la atmósfera como radiación difusa, esto hace que un 51 % de

radiación llegue a la superficie terrestre. Un 19 % es absorbido por las nubes y gases atmosféricos. El otro 30 % se pierde hacia el espacio, de éstos, la atmósfera dispersa un 6 %, las nubes reflejan un 20 % y el suelo refleja el otro 4 %. Entonces la radiación solar que llega a la atmósfera puede ser dispersada, reflejada o absorbida por sus componentes. (Taiz y Zeiger, 2002, Camejo, 2012).

La energía del sol se usa para el calentamiento de agua, a través de colectores solares térmicos y para producir corriente eléctrica con celdas fotovoltaicas. (Landa, 2005, Roman, 2007, Rizk y Nagrial, 2008, Torpey, 2009, Tinajeros, 2011, Swift, 2011).

La demanda de energía se incrementa cada año, a pesar de que los recursos energéticos son limitados. De ahí la importancia de fomentar el uso de energías renovables como la solar, tales como: 1) "Energía solar fotovoltaica; 2) Energía solar térmica. (Landa, 2005)

Resulta imposible concebir un desarrollo sostenible que no esté basado en las fuentes renovables de energía en sus diferentes manifestaciones. Entonces la energía del sol puede utilizarse en el país con ventajas en aplicaciones en pequeña y gran escala para el calentamiento de agua y la producción de energía. En el caso de la zona Norte, existen una gran cantidad de productores de leche, que usan de manera sistemática agua caliente en sus unidades, calentadas a través de resistencias eléctricas, con intercambiadores térmicos y combustibles fósiles. En este sentido este proyecto se estaría centrando en la captación de la energía solar, para calentamiento de agua y generación de energía que ayude a los pequeños y medianos productores a ser más amigables con el ambiente.

Las formas de captación de la energía del sol son: Los paneles solares son dispositivos que aprovechan la energía que llega a la tierra en forma de radiación solar, los componentes principales de los paneles solares son las células de silicio policristalino, el cobre, el aluminio, pvc y otros materiales. Hay dos tipos distintos de paneles solares dependiendo de su utilización: el primero es el panel solar para el calentamiento del agua, que puede ser de circuito abierto y cerrado. Este sistema reduce costos y es más eficiente, pero presenta problemas 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 sistemas: flujo por termosifón y flujo forzado. Los paneles solares térmicos tienen un muy bajo impacto ambiental (RES & RUE DISEMINATION, 2005, Khan *et al*, 2010, Quirós, 2011). Los calentadores de agua de uso doméstico en termosifón: El agua caliente se utiliza para uso doméstico, comerciales, hospitales, centros de recreo, hoteles, e industrias, etc. También puede ser usada en sistemas agropecuarios. (Guzmán e Iglesias, 1986, Guzmán e Iglesias, 1987a, Guzmán e Iglesias, 1987b).

Los tubos del colector, por los que circula el agua, se colocan longitudinalmente de manera que el agua fría entre 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.

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).

Un sistema termosifónico figura No1, es aquel que funciona a partir del movimiento que se genera a partir del calentamiento de la misma a través de la captación de la radiación solar, en un sistema cerrado. Este sistema no utiliza para el movimiento del agua, ningún tipo de energía, sino solamente usa la gravedad, en función de los niveles de los tanques de agua (Despaigne *et al*, 2003, Andersen *et al*, 2007, Khan *et al*, 2010, Anderson *et al* 2008, Alvarado, 1998, Wongsuwan, 2005 y RES & RUE DISEMINATION, 2005).

DIAGRAMA DE INSTALACIÓN TERMOFÓN

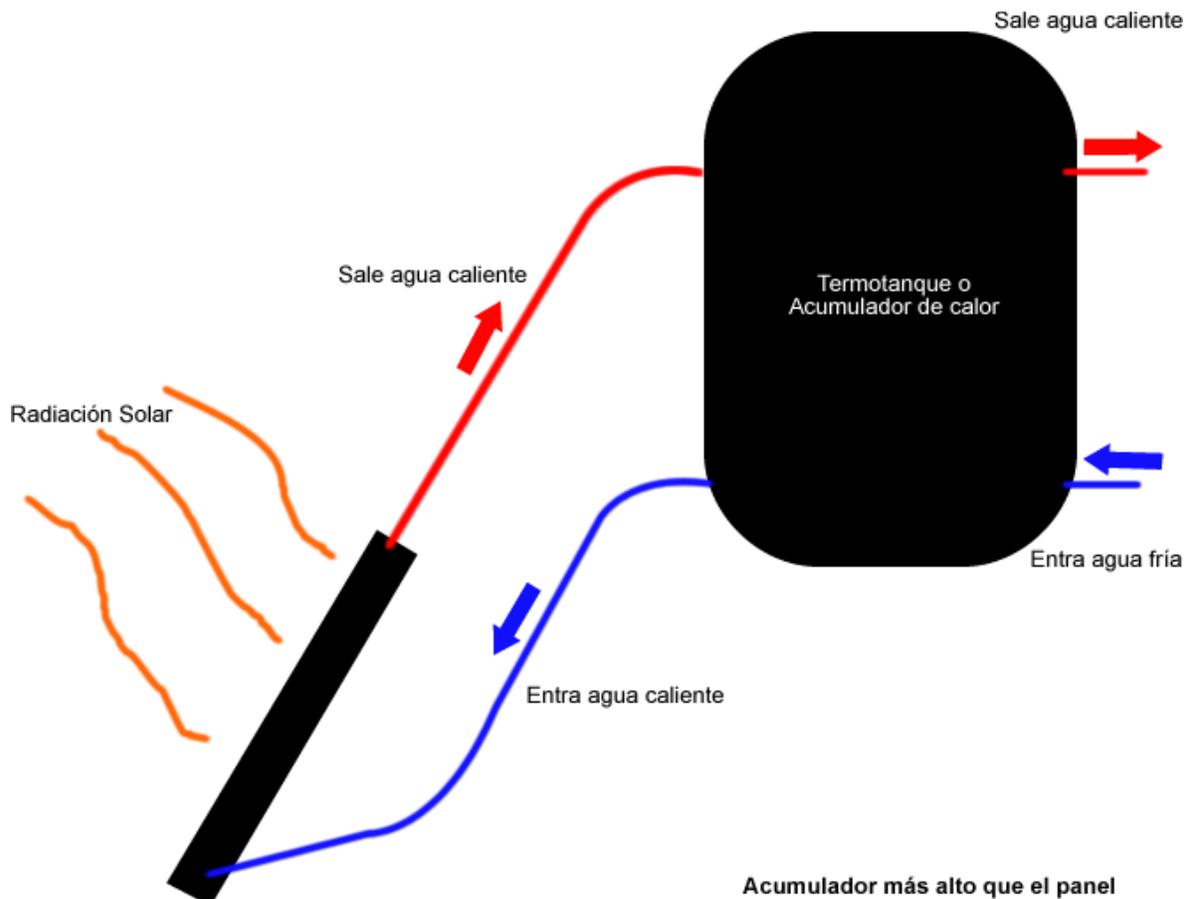


Figura No 1.- Esquema de un Sistema solar térmico termosifónico. Cortesía Termisolar S.A

Sistemas de captación fotovoltaicos figura No 2: Los paneles o módulos fotovoltaicos están formados por un conjunto de celdas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. Los paneles fotovoltaicos se dividen en: Cristalinos, Monocristalinos estos se componen de secciones de un único cristal de silicio (Si), y los Policristalinos:

cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas, los Amorfos: cuando el silicio no se ha cristalizado. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 20% mientras que el de las últimas puede no llegar al 10%, sin embargo su coste y peso es muy inferior. El coste de los paneles fotovoltaicos se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales.

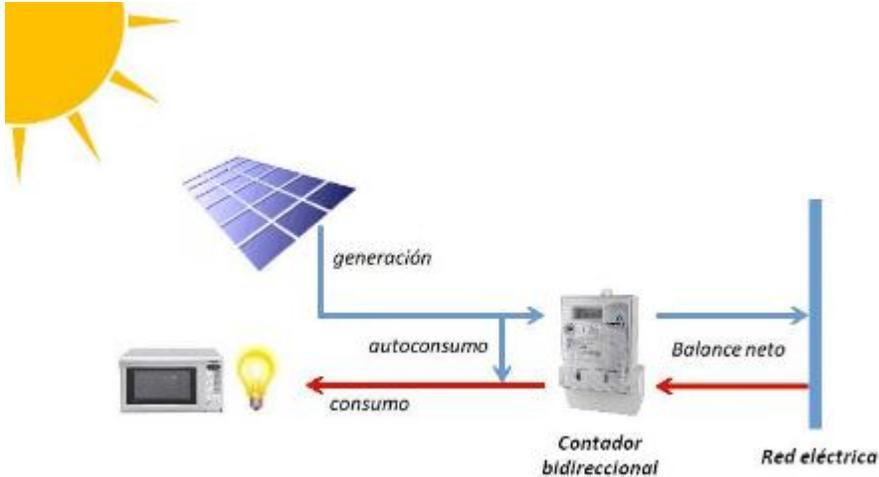


Figura No 2.- Esquema de un sistema fotovoltaico. Tomado de www.gstriatum.com

Los usos de los sistemas fotovoltaicos son muchos y variados dentro de los cuales podemos citar: Centrales conectadas a red para suministro eléctrico, (Como el caso de la planta de Bagaces en Guanacaste, Costa Rica, ICE 2011), sistemas de autoconsumo en generación distribuida, suministro eléctrico en instalaciones rurales alejadas, luminarias, faros, comunicaciones entre otras.

El uso de esta tecnología para ahorrar corriente eléctrica en un sistema de autoconsumo es la idea básica de este proyecto.

En este sentido los objetivos que nos hemos propuesto para el mismo son:

Objetivo General: Aplicar sistemas solares de captación térmica y fotovoltaica para el calentamiento de agua y producción de energía en la lechería del Programa de Producción Agropecuaria de la Escuela de Agronomía del ITCR. Los objetivos Específico son: 1.- Implementar dos sistemas solares de captación térmica y fotovoltaica para el calentamiento de agua y producción de energía en la lechería del PPA. 2.-Evaluar el potencial del sistema de captación térmica y fotovoltaica en la zona de Santa Clara de Florencia, mediante el registro de las variables climáticas y el procesamiento de estas a través de un sistema computarizado de base de datos. 3.-Transferir los resultados a

través de un programa de capacitación a productores y estudiantes sobre el uso de sistemas solares térmicos y fotovoltaicos en un área demostrativa didáctica. .

METODOLOGÍA

Se instalaron ~~Los equipos instalados en estos momentos están~~ ubicados en la lechería del Programa de Producción Agropecuaria de la Escuela de Agronomía del ITCR y dos laboratorios, o sea el laboratorio de Calidad de carne y el de Biocontroladores como una Área para la validación de la tecnología en las unidades productivas y como unidades Didácticas.

Posteriormente se instalaran estos sistemas en la lechería de la “Escuela Técnica Agrícola e Industrial” de Santa Clara (ETAI) y en un productor independiente de “Dos Pinos” y dos plantas procesadoras de quesos en Santa Rosa de Pocosol, Alajuela, zona Norte.

El proyecto se enmarcará en cinco etapas, a saber:

Primera etapa

Diseño de un sistema solar termosifónico en la lechería del ITCR y un sistema fotovoltaico de generación eléctrica, así como un módulo fotovoltaico educativo.

Una vez montado el sistema en la lechería se procedió a la toma de datos de la siguiente manera: Monitoreo, de variables del sistema, tales como iluminación, nubosidad, horas de luz, radiación solar directa y difusa, masa de agua calentada, temperatura del agua a la entrada del sistema, temperatura del agua a la salida del sistema.

La información de la lechería está en los cuadros no 1, 2 y 3.

Cuadro 1. Lechería seleccionada:

Lechería	Uso de agua caliente	Ubicación
1. ITCR-SSC Zona Norte	Limpieza de equipos de ordeño y refrigeración	Santa Clara
2.- Laboratorio de Calidad de carnes	Uso de agua caliente en el laboratorio para limpieza de huesos y grasas animales	

3.-Laboratorio Biocontroladores	de	Uso de agua caliente para control y limpieza.	
------------------------------------	----	-----------------------------------------------	--

Cuadro 2. Características de la lechería del ITCR

Lechería	Área	Kg leche	Volumen diario de uso de agua caliente	Volumen de agua caliente anual	Factura de agua anual	Factura eléctrica colones/mes	Factura eléctrica / anual en colones
ITCR-SSC	24 ha	500 kg	160 l / día	58.40 m ³	¢ 262 800.00	¢150 000.00	¢1 800 000.00

Cuadro 3. Ahorro total que "podría" generar el sistema por día, por mes y por año

	Día	Mes	Año
Ahorro de energía kWh	14,73	448,00	5.376,00
Ahorro de gas litros	2,65	80,74	968,91
Ahorro en us \$	\$1,75	\$53,29	\$639,48
Inversión: costo del sistema dólares	\$2.720,00		
Recuperación de la inversión	51,0 meses, Si se calentara el agua con gas		

Los equipos instalados tienen los siguientes componentes: **Módulos a instalados en lecherías:** Sistema de paneles solares térmicos: Paneles solares de calentamiento de agua, tanque acumulador de 302.40 l de agua, con sistema eléctrico auxiliar acoplado. Este tanque tendrá tres previstas interiores para conexión de termopares. Estos termopares estarán conectados a una computadora que registrará 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. Sistema de paneles solares fotovoltaicos: Paneles solares fotovoltaicos; sistema de almacenamiento (opcional). Puede ser conectado a la red en generación distribuida de autoconsumo, regulador de carga; inversor, instalaciones varias de conexión, base de montaje en suelo.

Equipo adicional, un CPU, equipo servidor de base de datos, unidad de respaldo de datos, monitores, teclados y cables de conexión.

Segunda etapa: Montaje de sistema fotovoltaico.

Tercera etapa: Medición de indicadores y variables. En la tercera etapa; se debe trabajar en mediciones de variables, tales como: Masa de agua fría / agua caliente captada por el

sol; diferencial (ahorro) con electricidad del sistema en función del uso de los sistemas solares, balance energético de los sistemas en función de la zona; determinar la eficiencia energética y la disminución de los costos de producción, estudio comparativo entre unidades con sistemas y sin sistemas solares; cálculo de la disminución de la huella de carbono. La cual será calculada mediante el 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 en Costa Rica proporcionados anualmente por la Internacional Energy Agency IEA.

Cuarta etapa: Montaje de los otros sistemas, en de la “Escuela Técnica Agrícola e Industrial” de Santa Clara (ETAI), un productor independiente de “Dos Pinos” y dos plantas procesadoras de quesos.

Quinta etapa: Desarrollo de la divulgación de los sistemas

Para lograr que los estudiantes, empresarios, la comunidad y los productores conozcan estos sistemas se desarrollarán: Días de campo; clases a los estudiantes de la sede regional. Ficha técnica del módulo aplicado; desplegable del módulo; presentación de los resultados en eventos nacionales e internacionales, ya sean en congresos o seminarios. Publicación de al menos un artículo técnico y científico de los resultados obtenidos.

Este proyecto tiene tres escenarios académicos, a saber, extensión, innovación e investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los sistemas de captación de energía solar térmicos y fotovoltaicos instalados hasta el momento en la lechería del Programa de Producción Agropecuaria (PPA) en los meses de mayo a julio del 2015, se pueden observar los siguientes resultados en la cuadro 4.

Cuadro 4. Resumen de las variables evaluadas en los paneles térmicos y fotovoltaicos ubicados en la lechería del ITCR Sede San Carlos durante los meses de Mayo a Julio del 2015.

Sistema	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
Térmico	Temp_entrada	242	27.01	1.76	6.53	23.00	34.00
	Temp_final	242	49.06	10.34	21.08	26.00	75.00
	Δ Temp (C)	242	22.41	9.28	41.40	6.00	47.00
Fotovoltaico	kWh/Día	242	5.49	2.02	36.74	1.24	10.03

La temperatura de entrada del agua a los paneles térmicos tiene un coeficiente de variación bajo de 6.53, debido a que se refiere a una variable que mantiene su comportamiento bastante estable. Esto se debe a que la temperatura ambiente del agua

dentro de la tubería está condicionada siempre los mismos factores. Dichos factores pueden ser el material de la tubería, su aislamiento de ambiente (subterránea), volumen de agua en tubería (homogenización de temperatura por conducción) y normalmente no se somete a condiciones diferentes, ni variables.

En el caso de las otras tres variables evaluadas, Temperatura final (temperatura lograda al salir de los paneles), cambio de temperatura lograda (ΔC) y kWh/Día (kilowatt hora generado al día). Las dos primeras evaluadas en los paneles térmicos y la última en los paneles fotovoltaicos. Se puede observar como los coeficientes de variación son notablemente más elevados y además si se relacionan con sus rangos de mínimos y máximos se infiere la gran heterogeneidad que se podría tener para cada una de ellas en función del tiempo, esto se debe a la relación directa que hay entre las medias obtenidas y las condiciones ambientales presentes durante el proceso de generación, principalmente nubosidad y radiación solar.

Con lo anterior se infiere que el rendimiento de ganancia de energía lograda con este tipo de equipos es complementario a las fuentes energéticas convencionales que se utilizan en un sistema productivo, porque va a depender de la radiación solar.

El comportamiento de los coeficientes de variación se observan en la figura 3.

La tendencia que presenta es previsible en este tipo de sistemas de captación energética dado que como lo reporta la literatura la optimización del aprovechamiento de la energía solar depende de la cantidad y tipo de radiación recibida que varía según la época del año, así como de los materiales utilizados para su captación y de las formas de almacenamiento (EVE sf).

Coefficientes de Variación (%) en función de las semanas evaluadas

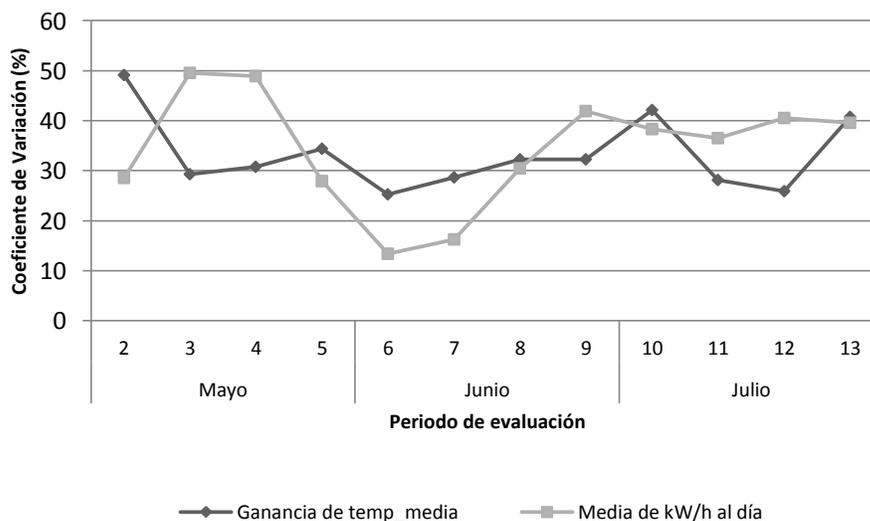


Figura 3. Coeficientes de variación en función del tiempo para las variables evaluadas en la producción energética de los paneles térmicos y fotovoltaicos instalados en la lechería del ITCR Sede San Carlos durante los meses de mayo a julio del 2015.

En la figura 4 se puede observar el comportamiento de las temperaturas de entrada del agua al sistema solar térmico y las temperaturas finales logradas al salir de los paneles en función del tiempo. Se presenta la temperatura demanda para el lavado del equipo de ordeño que es como mínimo de 70 grados inicialmente. Esto nos permite observar la relación entre la ganancia de temperatura proveniente de la energía solar captada y el restante que se debe suplir mediante un sistema auxiliar, con resistencias eléctricas.

La gran variabilidad que se observa gráficamente se debe a la fluctuación en el potencial de aprovechamiento energético condicionado por la intensidad de radiación solar recibida directamente, los ciclos diarios y las condiciones climatológicas como la nubosidad.

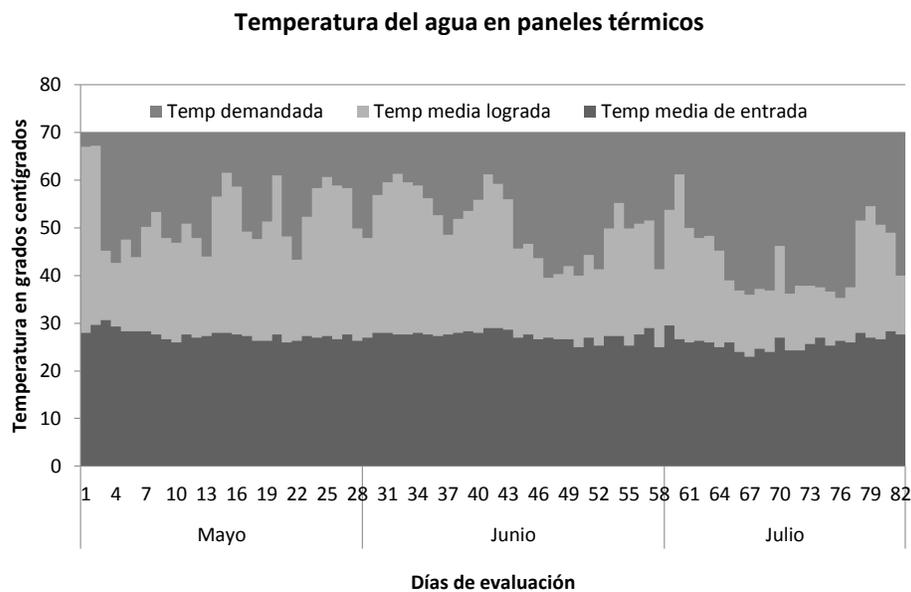


Figura 4. Temperaturas diarias registradas en el sistema de paneles térmicos instalados en la lechería del ITCR Sede San Carlos durante los meses de mayo a julio del 2015.

En la figura 5 se observa la distribución de la ganancia de temperatura diaria por medio de la implementación de los colectores solares térmicos en un sistema termosifónico. En el 95 % de los días evaluados el rango de temperatura ganada oscila entre los 11 y 31°C, analizando un poco más profundo queda claro como en el 68 % de los días evaluados el rango de ganancia de temperatura del agua va de los 21 a 37°C.

En el 68 % de los días evaluados se logró captar la radiación solar la mitad de la energía necesaria para lograr el cambio de temperatura necesario entre la temperatura

media de entrada del agua al sistema y la temperatura demandada de 70° C, este comportamiento se observa en las medias para cada variable con una temperatura de entrada del agua de 27.01°C en promedio y una temperatura final de 49.06°C; supliendo en promedio 22.08° C lo que equivale a un 51% del diferencial necesitado para llegar a los 70°C que necesita el equipo de limpieza de la lechería. En el restante tercio de los días evaluados se registran porcentajes que oscilan entre el 35 y 49% de abastecimiento del diferencial de temperatura promedio necesitado.

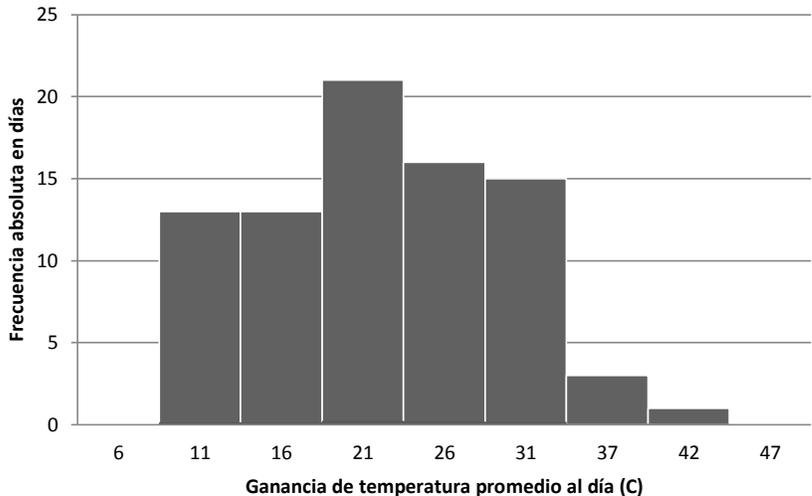


Figura 5. Distribución de las frecuencias absolutas y porcentuales para la variable Ganancia de temperatura promedio al día utilizando los colectores solares instalados en la lechería del ITCR Sede San Carlos durante el periodo de mayo a julio del 2015.

En la figura 6 se observa como en el 96% de los días evaluados se produjeron al menos 3 kWh/día, en el 79% de los días se produjo al menos 5 kWh/día y en el 67% de los días evaluados más de 6 kWh/día. Estas cantidades de energía no son despreciables en relación a la capacidad de abastecimiento que tendrían en los sistemas de iluminación o ventilación dentro de las instalaciones del sistema productivo. La principal generación de energía eléctrica lograda está entre los 5 y 8 kWh al día es la tendencia que se presentó el 65% de los días evaluados.

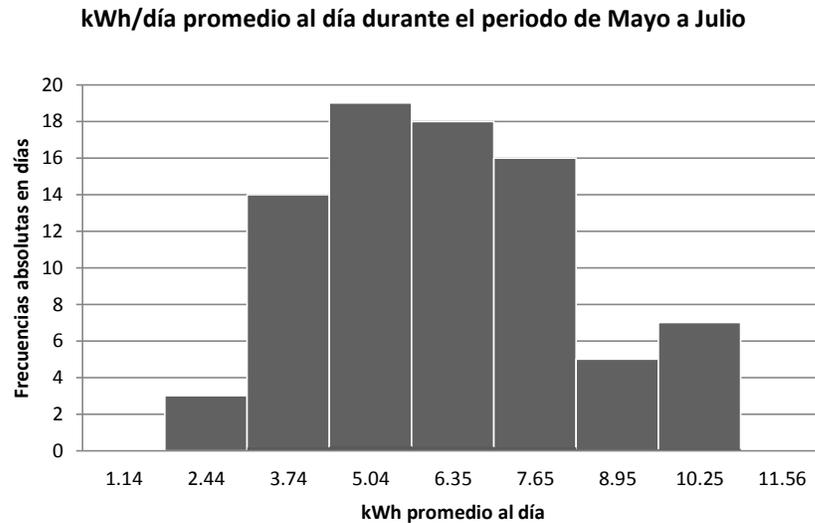


Figura 6. Distribución de las frecuencias absolutas y porcentuales para la variable kWh/día generados por los paneles fotovoltaicos ubicados en la lechería del ITCR Sede San Carlos durante el periodo de Mayo a Julio del 2015.

En la figura 7 se observa la acumulación de energía lograda por cada sistema de paneles solares instalados, tanto el sistema térmico, como el fotovoltaico en kWh al día. La tendencia en ambos casos son similares, esto obedece a que los dos reciben exactamente la misma radiación al estar colocados a la misma inclinación (10 grados respecto a la superficie terrestre) y orientación (Norte-Sur). Las tendencias son muy similares así como las magnitudes energéticas equivalentes; ya que el cálculo de los kW/h día de los paneles térmicos fue hecho mediante la conversión del diferencial de temperatura logrado a Joules en un volumen de agua igual al promedio del demanda por la lechería durante el periodo de evaluación, 220 L/día. Una vez realizado este cálculo se pudo evaluar la cantidad de CO₂e y disponer de un dato que nos permitiera dar razón de las emisiones indirectas por energía eléctrica que se podrían disminuir en un sistema productivo que implemente este tipo de tecnologías.

Equivalente energético generado por los sistemas de paneles térmicos y fotovoltaicos en los meses de Mayo a Julio de 2015

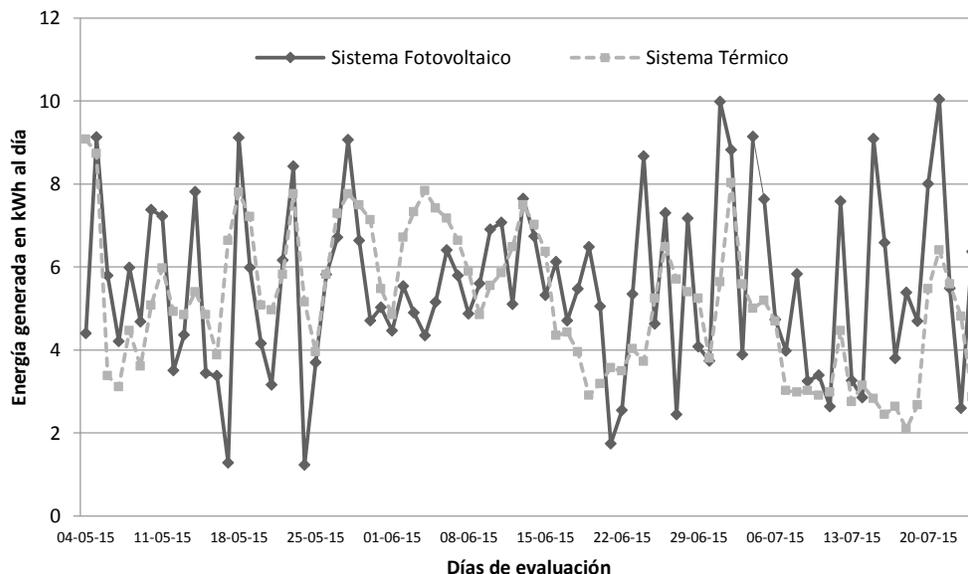


Figura 8. Comportamiento del equivalente energético generado (kW/h) en función del tiempo por cada sistema de captación solar instalado en la lechería del ITCR Sede San Carlos durante el periodo de mayo a julio del 2015.

En la figura 9 se observa la energía captada por ambos sistemas en los tres meses en estudio, en total se estimó que la energía generada en ambos sistemas fue de 875.80 kWh de los cuales el 52% corresponde a la energía capturada por los paneles térmicos y el 48% por los fotovoltaicos.

Total de energía generada por los sistemas Fotovoltaico y Térmico durante los meses de Mayo a Julio de 2015

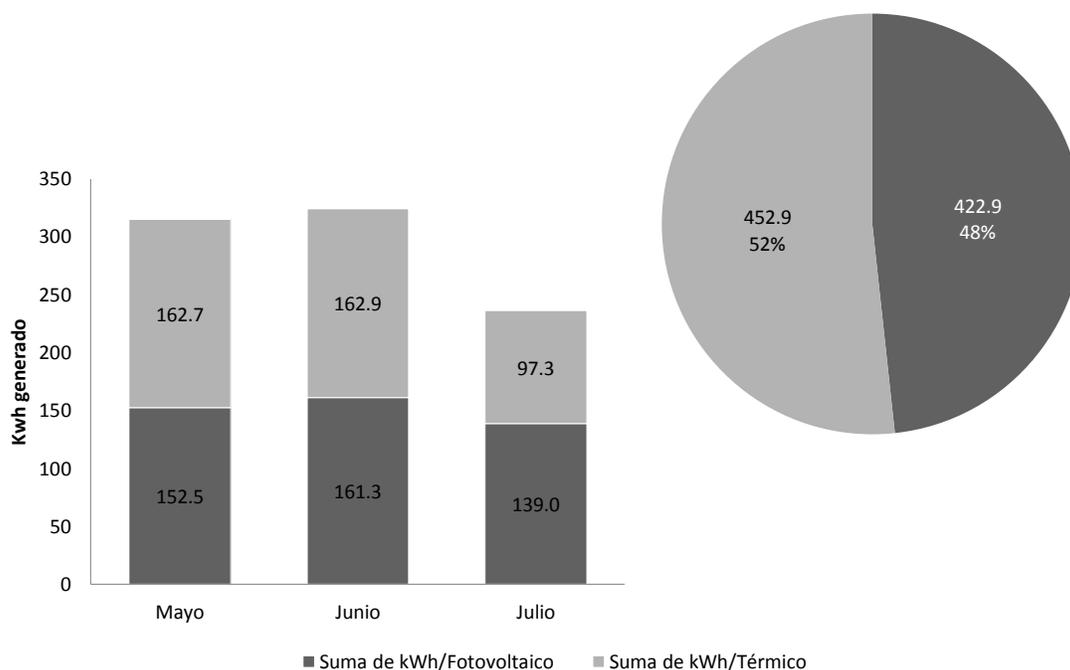


Figura 9. Equivalente energético (kW/h) generado por los sistemas fotovoltaico y térmico instalados en la lechería del ITCR Sede San Carlos durante los meses de mayo a julio del 2015.

Esta energía captada, si fuese a sustituir energía eléctrica dentro de un sistema productivo, equivaldría a una disminución de 0.103 t CO₂e. En términos económicos podríamos estar hablando de un monto total de ₡ 103 332.60 a un precio de ₡118 kWh, como se observa en el cuadro 5.

Con los datos actuales de estos tres meses, realizando la estimación a un año se podría disminuir una cantidad de 0.412 ton CO₂e de las emisiones provenientes de la matriz energética de un sistema productivo, en el caso de este sistema productivo esto equivaldría al 4.5% de la electricidad demandada, en sistemas convencionales con consumos registrados de 20 000 kWh al año esto equivaldría a poco más de un 18 % de la energía eléctrica demanda.

En términos económicos correspondería a un equivalente de ₡ 413 330 anuales a un precio de ₡118 el kWh.

Es necesario aclarar que esta estimación está sujeta a la gran variabilidad que representa la utilización de estos sistemas y la tecnología disponible, sin embargo los sistemas son alternativas tecnológicas eficaces y viables.

Cuadro 5. Generación energética, potencial disminución de factura económica y disminución en las emisiones de GEI logrados por los sistemas de captación de energía solar ubicados en el sistema lechero del ITCR Sede San Carlos.

Sistema	Mes evaluado	Equivalente energético generado (kW/h)	Disminución potencial de la factura (¢)	Disminución potencial de emisiones de GEI (ton CO ₂ e)
Térmico	Mayo	162.7	19 198.60	0.019
	Junio	162.9	19 222.20	0.019
	Julio	97.3	11 481.40	0.012
Fotovoltaico	Mayo	152.5	17 995.00	0.018
	Junio	161.3	19 033.40	0.019
	Julio	139.0	16 402.00	0.016
Total del periodo		875.80	103 332.60	0.103

En cuadro 6, se observa que entre los sistemas fotovoltaicos y térmicos, usados en la lechería se produce un ahorro energético que está entre el 20 y el 30 por ciento en función de los días y meses analizados hasta el momento.

Cuadro 6. Balance de energía lograda de los sistemas solares y su ahorro en porcentaje en los meses en estudio de mayo, junio y julio

Días	Energía consumida en la lechería, y los dos laboratorios del ITCR en kWh	Energía consumida en la lechería del ITCR en kWh	Promedio de la producción con el sistema fotovoltaico kWh	Promedio de la producción con el sistema térmico kWh	Producción promedio de ambos sistemas kWh	Ahorro energético neto por los dos sistemas
1.	134,63	44,87	8,15	5,38	13,53	30,15 %
2.	144,18	48,06	7,72	5,38	13,1	27,25 %
3.	141,177	47,05	4,22	5,46	9,68	20,37 %
4.	140,496	46,83	7,54	6,03	13,57	28,97 %
5.	130,358	43,45	6,81	6,01	12,82	29,5 %
6.	127,939	42,64	5,29	5,67	10,96	25,70 %
7.	136,512	45,50	4,58	5,32	9,9	21,75 %
8. 1	131,624	43,87	5,51	5,71	11,22	25,52 %
9.	126,222	42,07	4,03	5,39	9,42	22,39 %
10.	84,185	28,06	4,56	5,29	9,85	35,10 %
11.	112,661	37,55	4,11	5,29	9,4	25,03 %
12.	133,097	44,36	6,75	4,85	11,6	26,14 %
13.	113,545	37,84	4,72	5,25	9,97	26,34 %
14.	135,251	45,08	4,15	5,25	9,4	20,85 %
15.	130,731	43,36	7,83	5,95	13,78	31,78 %
Total general	1922,608	640,59	85,97	82,23	168,2	26,25 %

En las figuras 10, 11 y 12 se observa la generación de energía eléctrica proveniente de la captación durante todo el día de los paneles fotovoltaicos, o sea desde las 6.00 am y hasta las 6.00 pm. Este sistema está instalado de manera directa, o sea la producción energética es utilizada en los sistemas de la lechería, sin ser esta energía almacenada. Otra opción sería almacenarla en una batería especial y usarla durante la noche.

Comportamiento de la generación (kWh) durante el día para el mes de Mayo de 2015

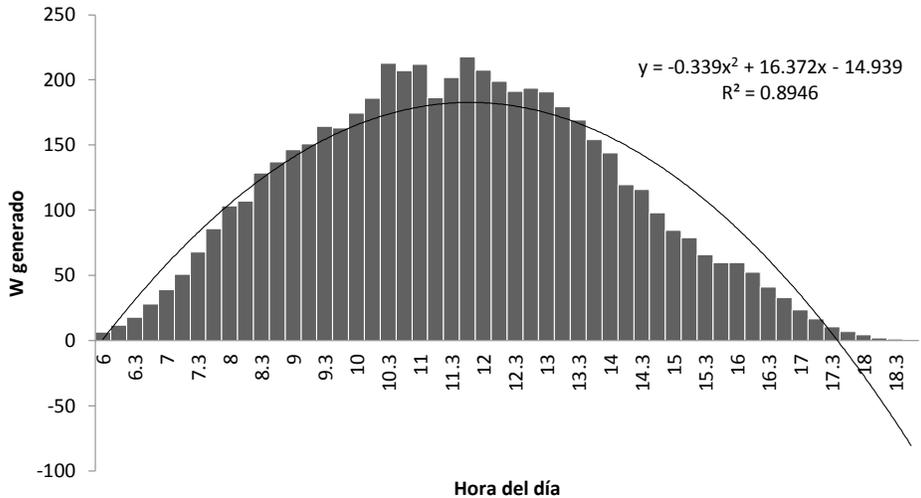


Figura 10. Comportamiento de la generación promedio durante el día en los paneles fotovoltaicos evaluados en la lechería del ITCR Sede San Carlos durante el mes de mayo del 2015.

**Comportamiento de la generación de energía (kwh)
durante el día para el mes de Junio de 2015**

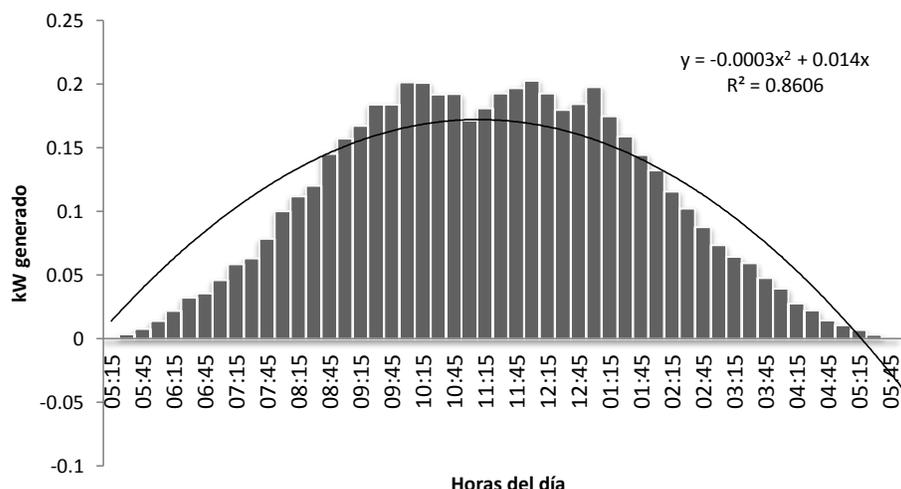


Figura 11. Comportamiento de la generación promedio durante el día en los paneles fotovoltaicos evaluados en la lechería del ITCR Sede San Carlos durante el mes de junio del 2015.

**Comportamiento de la generación de energía (kW)
durante el día para el mes de Julio de 2015**

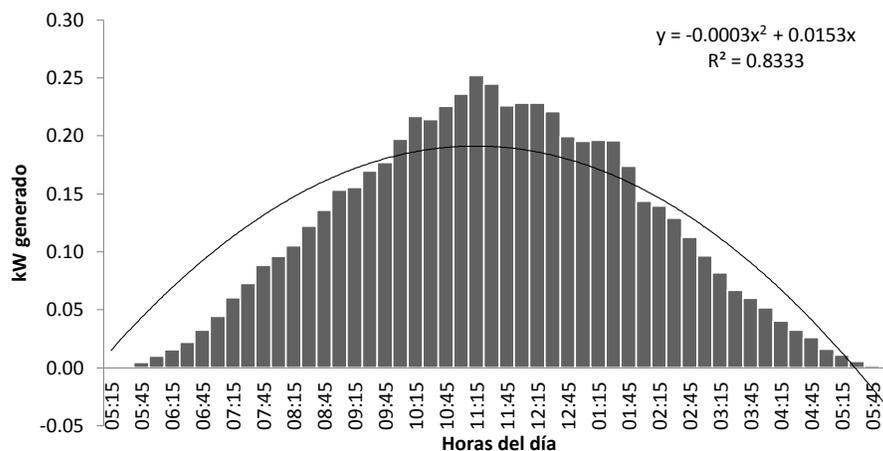


Figura 12. Comportamiento de la generación promedio durante el día en los paneles fotovoltaicos evaluados en la lechería del ITCR Sede San Carlos durante el mes de julio del 2015.

Respecto al consumo de agua caliente proveniente de los colectores solares se registró una demanda diaria de 220 litros, sobre la base a este volumen se hicieron todos los cálculos de generación equivalente de energía del sistema, sin embargo para poder

relacionar el beneficio real en una lechería estándar es necesario que se cuantifique el volumen demandado para el lavado, esto para poder determinar el aprovechamiento energético. En este caso según recomendaciones técnicas del equipo utilizado en esta lechería se necesitan 35 litros para cada lavado, por tanto dos lavados al día corresponden a 70 litros de agua caliente, a esto debemos adicionar un pre-enjuague o enjuague de leche que se hace también con agua caliente por lo que podríamos estar hablando de un consumo diario cercano a los 140 litros solamente para el lavado de equipo de ordeño.

Existen numerosos controles que deben realizarse en el tiempo para lograr una mejor calidad de leche. Entre ellos se encuentran aquellos directamente relacionados con la limpieza de la máquina de ordeñar apuntando a aquellos parámetros a tener en cuenta para evitar el desarrollo de microorganismos y el depósito de residuos. Hay que recordar la forma de estratificación de los residuos en los caños. Estos se depositan en capas de grasa, proteínas y minerales sucesivamente hasta formar una "costra". Un correcto lavado de la máquina de ordeñar se hace para evitar esto, por lo que es vital el lavado con agua caliente para garantizar tanto el buen mantenimiento del equipo como la inocuidad del producto obtenido (Berti 2008).

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se realizó este estudio se proponen las siguientes conclusiones:

Los colectores solares durante el periodo de evaluación de mayo a julio del 2015 lograron en promedio una ganancia diaria de temperatura de 22.41 ± 9.28 °C; en el caso de los paneles fotovoltaicos se registró en promedio una producción diaria de 5.49 ± 2.02 kWh.

En el trimestre evaluado (mayo a julio) los sistemas de captación y generación de energía solar produjeron el equivalente energético de 875.90 kWh lo que equivale a 0.103 ton CO₂e y un ahorro de ₡103 332.60 según las tarifas vigentes en Coopelesca.

El ahorro energético que se produce entre los dos sistemas en los meses evaluados, están entre el 20-30 por ciento de kWh.

Los sistemas se convierten en una alternativa sostenible para los productores en las actividades productivas que realizan que les permite disminuir el impacto en el ambiente.

RECOMENDACIONES

Se deberá continuar la evaluación de ambos sistemas durante al menos dos años y en diferentes lugares de la zona Norte.

BIBLIOGRAFÍA

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. Published on line 29 de junio in Wiley Interscience

Andersen , E. (2008) Hot water heat stores by termosiphonics system. *International Journal of Sustainable Energy*. Published on line 29 de junio in Wiley Interscience.

Alvarado, R. (1998). Boletín Meteorológico números 1, 2 y 3. Publicaciones ITCR, San Carlos. Costa Rica.

Berriz, P. L. (2012). La energía solar: base para el desarrollo sostenible. *Energía y Tú*, Número 58. Abril - Junio de 2012. Cuba.

Boletines informativos del IMN. [http:// www.imn.ac.cr](http://www.imn.ac.cr). Consultados em el 2013.

Camejo, J. E. (2012). Conectar el sol con la red. *Energía y Tú*. Número 57. Enero – Marzo. Cuba.

CENSOLAR. (1993). Valores medios de irradiación solar sobre suelo horizontal. Primera Edición. España.

Despaigne, H., Torres, A., Maceo, F., Cobián, S. (2003). Sistema solar termosifónico de calentamiento de agua sanitaria en cayo Las Brujas. *Memorias 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. *Rev. Proyección*. IPROYAZ. p. 15 - 20. Cuba.

Guzmán, T., Iglesias, J. (1987a).Energía solar para la agroindustria azucarera. Informe técnico. Edición ISP JAE. 1987.

Guzmán, T., Iglesias, J. (1987b) Evaluación técnico-económica de una planta solar de tratamiento hidrotérmico a la semilla de caña de azúcar. I Conf. 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. Rev. Energía. pág. 3-7. 1989. 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. Estados Unidos.

Guzmán, T., Iglesias, J. (1999). Planta solar de hidrotatamiento para el control de enfermedades en cultivos económicos. Memorias del Congreso Costarricense de la Caña de Azúcar. Condovac. Guanacaste. Pag. 250. Costa Rica.

IMN. (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica) (2013). www.imn.ac.cr, consultado el día 9 de febrero del 2013.

Insunza, J. (2013). Meteorología descriptiva. Radiación solar y terrestre, http://www.met.igp.gob.pe/users/yamina/meteorologia/radiacion_doc_Univ_CHile.pdf, tomado de internet el día 9 de febrero del 2013.

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>

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. 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.

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. http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2005/01/11/114942.php, consultado el día 10 de febrero del 2013.

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. Consultado 12 de marzo del 2013. http://www.dse.go.cr/es/03publicaciones/01PoliticaEnerg/VI_Plan_Nacional_de_Energia_2012-2030.pdf.

Quirós, L. (2011). Calentando el agua y cuidando el ambiente. <http://www.revistaconstruir.com/construccion-sostenible/836>

RES & RUE DISEMINATION (2005). Energía solar térmica. Proyecto de circulación natural y forzada. <http://www.cesu.es/temas>, CONSULTADO EL DIA 10 DE FEBRERO DEL 2013

Rizk, J., Nagrial, M., H. (2008). Impact of reflectors on solar energy. Proceedings of the world academy of Science. Engineering and Technology. Vol 31, July.

Roman, H. (2007). Here comes the sun. Residential solar systems. Power energy. www.techdirecctions.com. Tomado de internet el día 10 de febrero del 2013.

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 desarrollados en el departamento de Física de la Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica.

Sistema por termosifón. http://www.mimacsolar.es/equipos_forzados.html, tomado de internet el día 9 de febrero del 2013.

Swift K.D. (2011). Is a solar energy system right for your organization?. Rev. Mangement Accounting Quarterly. Vol. 12, No 4.

Sopian, K. Syarhri, M., Abdullah, S., Othman, M., Yatim, B. (2007). Unglazed fiber glass reinforced polyester solar water heater whit integrtated storage system. International Journal of Sustainable Energy. 10.1061/ (ASCE) 0733-9402, 133; 1 (26).

Taiz, L., Zeiger E. (2002). Plant physiology. Chater 7. Photosynthesis. The light reaction. Pag 112-115. USA.

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. Rev. Producción más limpia, julio-diciembre Vol 2 , No 2.

UPC (1999). Sistema de calentamiento con energía solar. <http://melca.com.ar/archivos/apuntes/Sistemas%20solares%20termicos%20de%20baja%20temperatura/FI00701C.pdf>. Tomado de internet el día 9 de febrero el 2013

Wongsuwam, W. (2005). Forced circulation solar water heater performance prediction by TRNSYS ANN. International journal of sustainable energy, vol 24, No 2, 69-86.