

Ventana lechera

Revista
especializada

Edición Nº 35 / Año 10 / Enero 2017

Doz Pinos
CEBS
Comité de Educación
y Bienestar Social

ISSN: 2215-2830

Ejemplar de distribución gratuita

Alternativas y eficiencia energética





Resultados de la implementación de tecnologías solares en sistemas de producción agropecuaria en Costa Rica

Guzmán T., Araya F., Obando-Ulloa J., Rivero M., Castro G.
Instituto Tecnológico de Costa Rica Sede Regional San Carlos. Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo.

Resumen

La alta dependencia por los combustibles fósiles insta a buscar alternativas que permitan una producción más limpia y que contribuyan a mitigar los efectos del cambio climático. El objetivo del presente trabajo consiste en mostrar la potencialidad del uso de la energía solar a través de sistemas térmicos y fotovoltaicos para el calentamiento de agua y la generación de energía eléctrica, respectivamente, en explotaciones agropecuarias de la Región Huetar Norte de Costa Rica. La evaluación técnica, económica y ambiental se realizó a partir de los datos obtenidos por los sistemas solares implantados en la lechería de la Sede Regional San Carlos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR-SSC) durante un año. Los resultados muestran que el uso de estos sistemas permite

lograr un autoconsumo de energía eléctrica de más del 35% de la unidad productiva con cero emisiones de gases efecto invernadero. En el caso de la producción de energía para calentar el agua para la esterilización de los equipos de ordeño (70°C), el sistema térmico aportó un incremento medio de 20,3 °C. Este aporte representa más del 70% de la energía necesaria para alcanzar la temperatura requerida y un ahorro económico mensual de aproximadamente ₡50.000,00. Los resultados muestran que el uso de la energía solar permite lograr una producción sostenible y reducir los gastos operativos en las unidades de producción agropecuaria en Costa Rica.

Palabras clave: Cambio climático, gases de efecto invernadero, huella de carbono, industria láctea, pasteurización, sistema fotovoltaico, sistema térmico.

Introducción

En el cantón de San Carlos (Alajuela, Costa Rica) se encuentra el 55% de los asociados de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L. (850 productores en total), quienes producen más de la mitad de la producción nacional de leche (600.000 kg). Entre los procesos productivos del sector ganadero y lechero que inciden negativamente en la huella de carbono local se encuentra el consumo eléctrico de las lecherías y plantas procesadoras de leche.

La política energética del Gobierno de Costa Rica está guiada por una orientación central que se puede resumir como sostenibilidad energética, con un bajo nivel de emisiones. Con esto se entiende que el país debe aspirar a contar con un sistema energético nacional con un bajo nivel de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), basado en el uso de fuentes limpias y renovables (MINAET, 2011). Aunque Costa Rica presenta un potencial teórico de 10.000 MW para la energía solar, el grado de utilización es mínimo (VI Plan Nacional de Energía 2012-2030, MINAET, 2011).

La energía del sol es un excelente candidato porque:

- (a) Emite energía 365 días al año en todos los lugares del planeta.
- (b) Es abundante y gratuita. Si el ser humano lograra aprovechar tan sólo un segundo del potencial energético del Sol (3.800.000 EJ anuales) se cubriría el consumo energético humano a nivel global para todo un año. (Schonewille y Anderton, 2005).

- (c) Supone un importante ahorro de combustible.
- (d) Permite reducir la emisión de gases productores de efecto invernadero, causantes del calentamiento global.
- (f) Reduce la dependencia energética nacional respecto a terceros países.
- (g) Genera empleo y contribuye a dinamizar la economía.
- (h) Aporta valor añadido y la posibilidad de adquirir un sello ecológico para los procesos que la usen, mejorando la imagen pública.
- (i) El costo diferencial de la instalación se amortiza a medio plazo.

Para captar la energía solar que incide sobre la superficie, se usa actualmente dos tipos distintos de paneles solares (González, 2009):

- Los llamados paneles o colectores **térmicos**, en los cuales el agua para consumo se ha calentado por acción de la radiación solar y se almacena en un depósito para su posterior uso. Se distingue dos tipos de sistemas térmicos en función de cómo fluye el agua:

- (i) **termosifónicos**: el agua circula por diferencia de densidad y gravedad. El agua, al calentarse, se hace más liviana respecto de la que entra al sistema y, por tanto, el agua caliente circula de forma ascendente hasta depositarse en el tanque de acumulación para consumo (Fig. 1). Es decir, que el agua se calienta y sube sola hasta quedar en el depósito de consumo, sin gasto alguno:

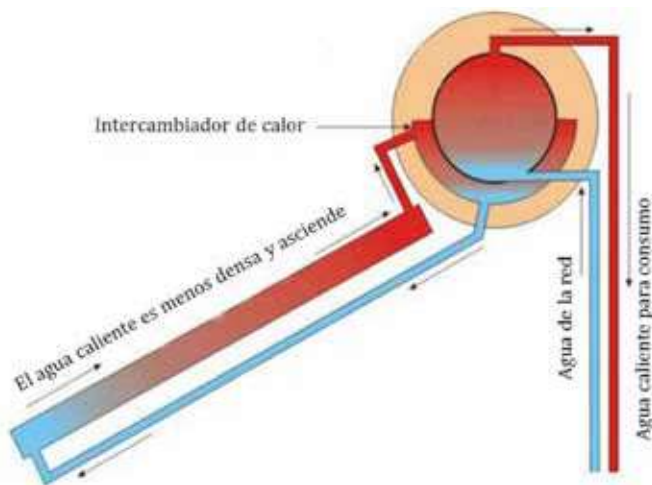


Figura. 1. Esquema básico de los sistemas termosifónicos (modificado de *nergiza.com*).

ii) **forzado:** en este caso la circulación del agua se hace mediante una bomba que “fuerza” el fluido para moverse por el sistema hasta el depósito de consumo (Fig. 2). Se recurre al sistema forzado cuando se necesita mayores volúmenes de agua, por lo que se requiere una instalación algo más compleja, pero se integra mejor a nivel estético en cualquier edificación y la circulación del agua es más rápida.

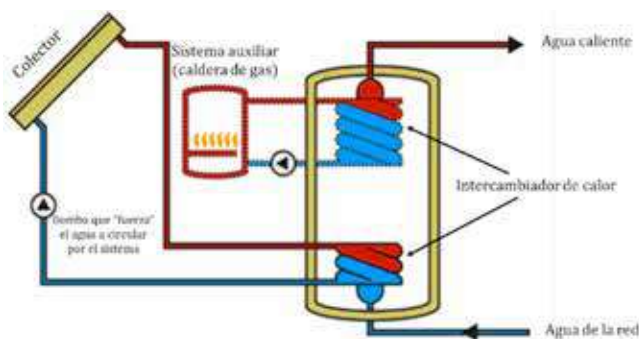


Figura. 2. Esquema básico del sistema híbrido-forzado (modificado de *programasolar.cl*).

Es preciso señalar que estos sistemas deben llevar acoplado un sistema energético auxiliar para aportar la energía que resulta insuficiente en los momentos de menos sol (por medio de resistencias eléctricas, gas u otro combustible), y que se activa sólo cuando la temperatura del agua sea inferior a lo que los consumidores requieren (Shyam, 1996).

■ Paneles o módulos **fotovoltaicos:** están formados por un conjunto de celdas que producen electricidad a partir de la radiación solar que incide sobre ellos (Fig. 3). El rendimiento de los mejores paneles alcanzan en la práctica en torno a un 20%, es decir, que de toda la radiación que absorben, un 20% se transforma en electricidad (Espejo-Marín, 2004; González, 2009).

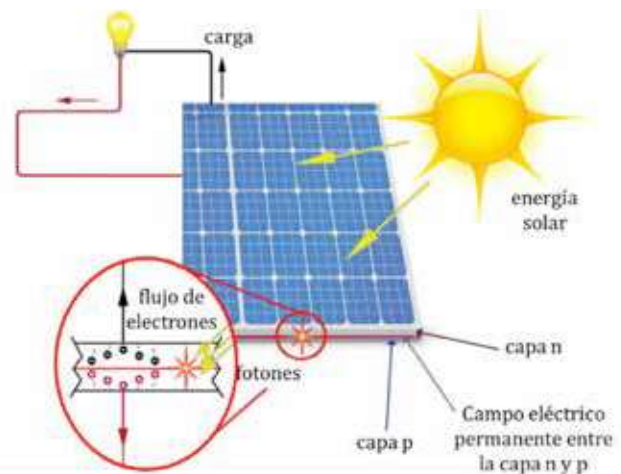


Figura. 3. Esquema básico del sistema fotovoltaico (modificado de *etap.com*). El principio de una célula fotovoltaica es obligar a los electrones que se han “arrancado” por acción de la radiación solar, a avanzar hacia el lado opuesto del panel. De esta forma, se producirá una diferencia de potencial entre ambas capas y por lo tanto, tensión entre las dos partes del material.

De acuerdo con la línea de acción de la estrategia 2.2 del MINAET para el sector energía que promueve programas de ahorro energético en los macro-consumidores, se ha estudiado las alternativas y estrategias de eficiencia energética, oportunidades y potencial presentes en la Región Huetar Norte. De esta forma, se ha optado por la tecnología solar como alternativa viable y efectiva para la generación de energía, tanto en la Región Huetar Norte como en la Chorotega, ya que ambas son las mejores zonas de radiación solar en Costa Rica, de acuerdo con el último estudio del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE; Portilla, 2014).

Materiales y métodos

La ubicación de los sistemas solares ha respondido a la necesidad del uso de éstos en la Región Huetar Norte de Costa Rica, relacionada directamente con la vocación agropecuaria, especialmente lechera y ganadera,

de la Sede Regional San Carlos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR-SSC).

Para tal efecto, se diseñó y se construyó cuatro instalaciones con sistemas solares termosifónicos y/o forzados, en las unidades productoras seleccionadas (Tabla 1). Aunque el trabajo se inició en julio del 2014, para efectos de este trabajo, sólo se presenta los resultados obtenidos en la lechería del ITCR-SSC desde mayo de 2015 a mayo de 2016 (Fig. 4), ya que los otros sistemas se encuentran en etapa de acondicionamiento para la recolección de los datos a través de un sistema computarizado (Fig. 5).

Se utilizó un software informático para monitorear las variables ambientales de temperatura media (°C), precipitación mensual acumulada (mm) y radiación solar (kWh/m²) registradas por la Estación Meteorológica del ITCR cada 30 minutos a lo largo de un año en Santa Clara de San Carlos (Alajuela, Costa Rica).

Tabla 1. Unidades de producción seleccionadas en la Región Huetar Norte para la instalación de los sistemas térmicos solares

Lechería/Productores de lácteos	Equipo instalado	Producción
1. Sede Regional San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica, (ITCR-SSC)	-Fotovoltaico -Termosifónico + sistema auxiliar eléctrico)	Electricidad Agua caliente (70°C) para esterilización de equipos de ordeño, laboratorio de microbiología y calidad de carnes; limpieza de la lechería.
2. Escuela Técnica Agrícola e Industrial (ETAI, Santa Clara de San Carlos)	-Termosifónico + sistema auxiliar eléctrico)	Agua caliente (70°C) para esterilización de equipos de ordeño; limpieza de la lechería.
3. Productores de lácteos LLAFRAK (Juanilama de San Rosa de Pocosol).	-Forzado + sistema auxiliar de gas LP)	Agua caliente (70°C) para esterilización de equipos de ordeño y limpieza; pasteurización de la leche
4. Productores de lácteos San Bosco (San Bosco de Santa Rosa de Pocosol)	-Forzado + sistema auxiliar de gas LP)	Agua caliente (70°C) para esterilización de equipos de ordeño y limpieza; pasteurización de la leche



Figura. 4. Sistemas solares implantados en la lechería ITCR-SSC.

Panorámica. a) Sistemas térmicos para proveer de agua caliente a la lechería, laboratorio de microbiología y de calidad carnes durante los procesos de lavado y esterilización de equipos. b) Sistemas fotovoltaicos que transforman la radiación solar en electricidad, la cual se suministra directamente a la red eléctrica para su uso (iluminación, refrigeración, bombeo, etc.).



Figura. 5. Plantas procesadoras de leche de LLAFRAK (superior) y San Bosco (inferior), en Santa Rosa de Pocosol. 1)

Antiguo sistema a base leña para calentar el agua y pasteurizar la leche. 2) Sustitución de la caldera de leña por sistemas térmicos híbridos-forzados para calentar el agua. 3) Marmita de leche durante la pasteurización solar.

Sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico instalado en la lechería del ITCR-SSC consta de ocho paneles de 1,26 m² cada uno. Cada panel cuenta con un inversor para generar corriente alterna - forma de electricidad que es consumida preferentemente por la mayoría de aparatos – que se introduce directamente en la red eléctrica (Fig. 6).

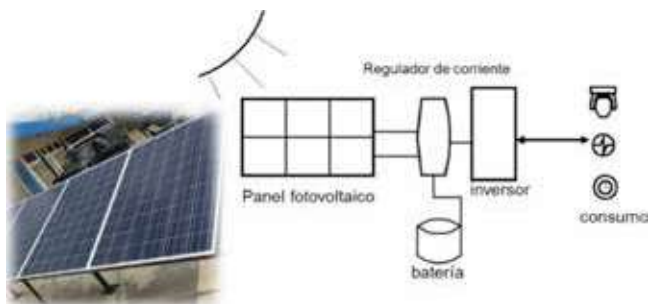


Figura. 6. Paneles fotovoltaicos de silicio monocristalino. Lechería ITCR-SSC.

La energía generada (en kWh, unidad en la que se mide la energía) se registró cada 15 minutos a través de un equipo de transmisión de datos inalámbricos accesible a través de Internet.

La eficiencia del sistema se calculó en base a la cantidad de energía eléctrica generada en función de la intensidad de radiación solar recibida (kWh/m²). Es decir, qué porcentaje de la radiación absorbida del sol se logró convertir en electricidad.

Sistema híbrido-termosifónico

Recordemos que lo llamamos “híbrido” porque requiere de una fuente alterna de energía

para cubrir lo que el sol a veces no puede (como a la noche o en días nublados), y “termosifónico” porque lo que hace es calentar agua (y no producir electricidad, pues esos son los fotovoltaicos).

En la lechería del ITCR-SSC hay también instalados ocho colectores, pero estos son distintos a los fotovoltaicos, puesto que no producen electricidad sino que calientan el agua que circula en su interior. Por ello, constan de una placa plana con cubierta de poliuretano de 2,10 m² cada uno, y con tubos de cobre en posición longitudinal por donde circula el agua. Por cada 4 colectores se instaló un tanque acumulador primario que canaliza el agua caliente a un tanque acumulador secundario de 302,40 L de capacidad, el cual tiene acoplado un sistema auxiliar eléctrico y una válvula de escape en caso de vaporización del agua (Fig. 7).

Esto último es de vital importancia para evitar que los depósitos implosionen por el vapor a presión cuando la temperatura del agua supera los 90°C.



Figura. 7. Calentador solar de agua con colectores planos, depósito de agua caliente con aislamiento térmico y circulación por termosifón. Lechería ITCR-SSC.

Las temperaturas alcanzadas (°C) en el sistema [temperatura de entrada del agua a los colectores, temperaturas del agua a la salida del tanque acumulador primario 1 y 2 y, temperatura a la entrada del tanque acumulador secundario] se registraron cada hora a través de un monitor inalámbrico (Fig. 8).

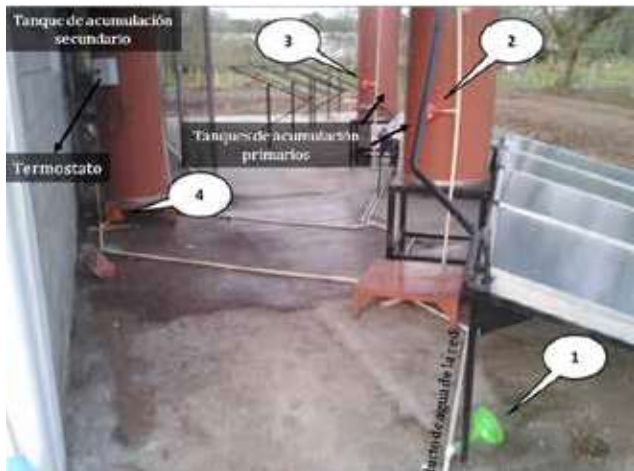


Figura. 8. Distribución de los termómetros colocados en el sistema de colectores solares. 1 termómetro que registra la temperatura de entrada del agua al sistema, 2 y 3 termómetros que registran la temperatura de salida del agua caliente de los paneles, y 4 termómetro en la entrada al tanque colector con termostato. El termostato regula la temperatura deseada de manera automática en el tanque de acumulación secundario. Si el calor del sol no ha sido suficiente para alcanzar la temperatura de consumo, se activa el sistema auxiliar eléctrico.

El impacto ambiental de estos sistemas se determinó por medio de la relación de los kg de CO₂ equivalentes que no se emiten a la atmósfera como consecuencia de los kWh generados por los paneles para uso eléctrico. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (AIE, 2010), un

kWh de electricidad equivale a 0,0557064 Kg de CO₂ en Costa Rica.

El estudio económico de la implementación de los sistemas solares se calculó por medio del ahorro en la factura eléctrica por cada kWh generado. Según la tarifa vigente de COOPELESCA para servicios con un consumo mensual superior a los 3.000 kWh, como es la lechería, el cargo por energía se sitúa en los ₡ 73,8 por kWh. A este monto se le suman ₡12.161,89 por kW de potencia instalada (en el caso los paneles fotovoltaicos son de 2kW de potencia), ₡3,31 por kWh de energía consumida en gastos de alumbrado público y un 5% aplicado al monto total de dinero cobrado por la energía eléctrica consumida a partir de consumos mayores a los 250 kWh mensuales (ICE, 2015). Con base en ese ahorro, se calculó el tiempo de recuperación de la inversión inicial (₡6.000.000 por ambos sistemas) y también a futuro según las tendencias macroeconómicas del sector eléctrico en Costa Rica, estimado en un crecimiento promedio del 14,3% anual (Montenegro, 2016).

Resultados

En el período en estudio (mayo 2015 a abril de 2016) se registró en la zona de Santa Clara de San Carlos una temperatura media de aproximadamente 26 °C. Los meses de marzo y diciembre fueron los más lluviosos, sobrepasando los 500 mm. El régimen de precipitaciones en esta zona no presenta una estación seca definida, pues las lluvias se mantienen entre los 100 y 200 mm en los meses menos lluviosos (Tabla 2).

Tabla 2. Temperatura ambiente y precipitaciones registradas de mayo 2015 a abril 2016 en Santa Clara de San Carlos.

Mes	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)
	Media	Máxima	Mínima	
May-15	26	34,8	21,3	120,7
Jun-15	25,3	34,4	19,7	275,1
Jul-15	25,8	34,6	20,6	331,7
Ago-15	25	33,3	18,7	397,3
Sept-15	25,6	32,8	20,7	219,5
Oct-15	24,5	32,3	17,9	127
Nov-15	24,5	33,7	18,1	350
Dic-15	25,8	31,9	19,7	500
Ene-16	25,35	31,1	19,6	100
Feb-16	26,8	29,68	19,68	262
Mar-16	25,6	34,1	20,8	507,8
Abr-16	25,9	34,1	20,8	105,8
Total precipitaciones				3.297
Temperatura Promedio	25,5	33,1	19,8	
Desv. Típ.	0,6	1,6	1,1	

Tabla 3. Producción mensual de los paneles fotovoltaicos registrada desde mayo 2015 hasta abril 2016. Lechería ITCR-SSC.

Mes	Energía total producida (kWh)
May-15	178,8
Jun-15	161,3
Jul-15	183,7
Ago-15	201,0
Sept-15	173,3
Oct-15	187,4
Nov-15	196,1
Dic-15	211,6
Ene-16	222,9
Feb-16	214,0
Mar-16	265,7
Abr-16	248,0
Promedio	203,6
Mínimo	161,3
Máximo	265,7

Producción eléctrica

De acuerdo con las condiciones climatológicas de la zona de San Carlos, el sistema fotovoltaico generó más de 200 kW/h en los meses de agosto y diciembre de 2015. Este volumen de producción energética se mantuvo hasta abril de 2016, logrando un pico máximo en marzo de 2016 (aprox. 266 kW/h; Tabla 3).

La producción energética diaria de los paneles fotovoltaicos tiene su máximo punto en las horas centrales del día, entre las 11 y 12 h (Fig. 9), con un rendimiento medio del 18%.

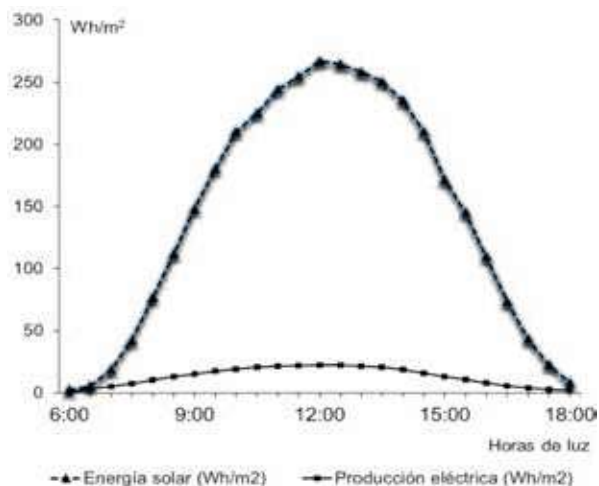


Figura 9. Energía solar y energía eléctrica generada diaria (promedio anual). Lechería ITCR-SSC.

Producción calorífica de los térmicos

El agua entró al sistema termosifónico a una temperatura media de 28,19 °C, y en los colectores se incrementó en 20,3 °C llegando a una temperatura media de salida de 48,5°C. La energía calorífica equivalente fue de 140,3 kWh por mes, lo que permitió ahorrar un 74% de la energía necesaria para alcanzar la temperatura requerida del agua para las operaciones de limpieza y desinfección de la lechería del ITCR-SSC (Tabla 4).

De los meses analizados en el período 2015-2016, en septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero se sobrepasaron las temperaturas de consumo en varios días, no utilizándose fuente alterna de energía. Enero fue el mes con mayor ahorro energético, cubriéndose más del 86% de la energía necesaria para el consumo a partir de la radiación

Tabla 4. Energía generada mensualmente por los sistemas solares térmicos instalados en la lechería del ITCR-SSC.

Mes	Temperatura (°C)				Ahorro (%)	Energía equivalente (kWh/mes)
	Inicial	Final	Variación (Δ Temp)	Consumida		
May-15	27,5	52,5	+25	70	75	180,0
Jun-15	27,3	50,8	+23	70	72,6	163,8
Jul-15	26	43,1	+17	70	61,6	123,8
Ago-15	26,2	35,3	+9	70	50,4	79,1
Sept-15	27,5	51,7	+24	70	73,9	115,5
Oct-15	26,4	42,9	+16	70	61,3	119,3
Nov-15	26	41	+15	70	58,6	104,6
Dic-15	30,4	54,2	+23	70	77,4	171,3
Ene-16	31,6	60,4	+28	70	86,3	197,5
Feb-16	32,6	43,7	+11	70	62,4	74,5
Mar-16	28,5	52,9	+24	70	75,6	175,9
Abr-16	28,3	53,9	+25	70	77	178,9
Promedio	28,2	48,5	20,3	70	74	140,3
Desv. Típ.	2,2	7,2	6,3	-	10,3	42,4

solar. El mes que menos fue agosto de 2015, en cuyo caso se cubrió más de la mitad de la energía requerida.

En términos energéticos de kWh, el sistema fotovoltaico fue significativamente más eficiente, pues produce más kWh diarios de energía por metro cuadrado que el térmico (Fig. 11).

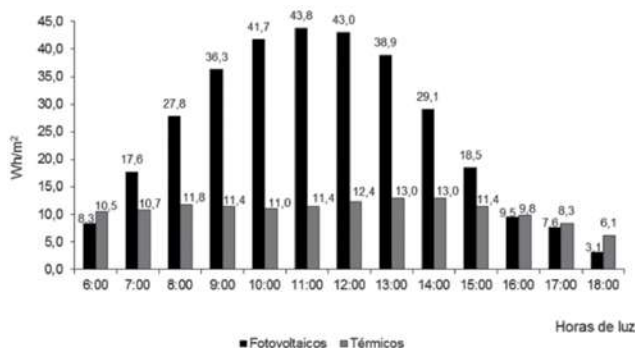


Figura 11. Producción energética de ambos sistemas a lo largo de un día en la lechería del ITCR-SSC

CO₂ equivalente que se ha dejado de emitir

Durante el año evaluado, los sistemas solares evitaron emitir a la atmósfera un total de 230 kg de CO₂, cantidad procedente del uso de energía eléctrica previo a la instalación de estos sistemas (Tabla 5).

Ahorro económico y recuperación de la inversión

Respecto al ahorro económico que han supuesto estos sistemas, el monto total ascendió a ¢640.257 (aproximadamente \$1.152) para el año evaluado. Esta cantidad representa el 35,57% de la factura anual de electricidad de la lechería (Tabla 6).

Con estos datos, la inversión inicial de todo el sistema (¢6.000.000) se recupera en 9 años, y

Tabla 5. Cantidad de CO₂ equivalente a la producción energética de los sistemas solares en la lechería ITCR-SSC.

Mes	Energía producida (kWh)			Kg Equivalente de CO ₂
	Sistema fotovoltaico	Sistema híbrido térmico	Total	
May-15	178,8	180,0	358,7	20
Jun-15	161,3	180,0	341,3	18,1
Jul-15	183,7	163,8	347,4	17,1
Ago-15	201,0	123,8	324,8	15,6
Sept-15	173,3	79,1	252,4	16,1
Oct-15	187,4	115,5	302,9	17
Nov-15	196,1	119,3	315,4	16,7
Dic-15	211,6	104,6	316,2	21,3
Ene-16	222,9	171,3	394,2	23,4
Feb-16	214,0	197,5	411,5	16,1
Mar-16	265,7	74,5	340,2	24,6
Abr-16	248,0	175,9	423,9	23,8
Total	2.443,8	1.685,1	4.128,9	-229,8

Tabla 6. Contribución económica de los sistemas solares a la factura anual de electricidad en la lechería del ITCR-SSC.

Mes	KWh total	Costo por energía (¢)	Costo por alumbrado público (¢)	Impuesto de ventas (¢)	Costo total (¢)
May-15	359	50.647	1.367	2.532,4	54.546,5
Jun-15	325	48.179	1.239	2.408,9	51.826,4
Jul-15	308	46.889	1.172	2.344,4	50.404,9
Ago-15	280	44.877	1.067	2.243,8	48.187,8
Sept-15	289	45.512	1.100	2.275,6	48.887,2
Oct-15	307	46.831	1.169	2.341,6	50.341,4
Nov-15	301	46.392	1.146	2.319,6	49.857,5
Dic-15	383	52.422	1.459	2.621,1	56.502,5
Ene-16	420	55.172	1.602	2.758,6	59.532,3
Feb-16	289	45.495	1.099	2.274,7	48.868,6
Mar-16	442	56.722	1.682	2.836,1	61.240,0
Abr-16	427	55.653	1.627	2.782,6	60.061,9
Total año	4.128	594.790	15.727	29.739,5	640.257

en 6 a un crecimiento proyectado del 14,3% anual, teniendo en cuenta que el tiempo de uso de estos sistemas se estima entre 25 y 30 años, con un mantenimiento mínimo de limpieza con agua de los colectores. (Figura 12).

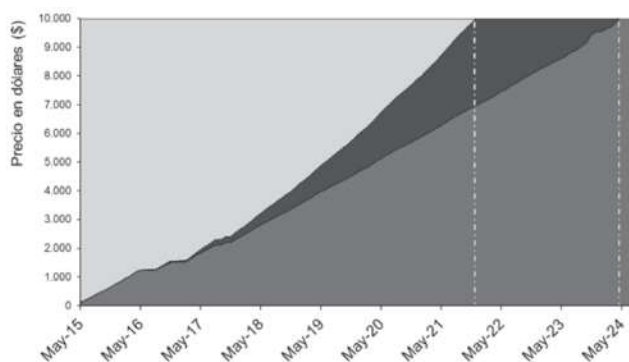


Figura 12. Recuperación de la inversión en dólares USD según el ahorro mensual durante el año evaluado y en el marco actual y futuro de las tarifas eléctricas.

Discusión

Con los sistemas solares se logró una producción energética mensual de aproximadamente 344 kWh, equivalentes a un ahorro anual de ¢640.257. Este volumen de producción es capaz de cubrir el 35% del consumo eléctrico anual de la lechería del ITCR-SSC. Una parte de ese consumo eléctrico se destinaba, antes de la implantación de los colectores, a calentar el agua para el lavado de equipos y desinfección. Actualmente, estos procesos se cubren en un 74% por calentamiento térmico a través del sistema térmico. Además, al almacenar esta agua en un tanque sellado, se puede disponer siempre de agua caliente para la limpieza e higiene de la lechería, aun cuando hay interrupciones en la electricidad y, de esta forma, asegurar la inocuidad alimentaria.

Si bien es cierto que, en términos energéticos de kWh por metro cuadrado, los paneles fotovoltaicos son más eficientes, la energía calorífica que aportan los térmicos para calentar el agua es suficiente para elevar su temperatura en un promedio de más de 20°C, lo cual supone tres cuartas partes de la energía necesaria para alcanzar la temperatura demandada.

En cualquier caso, se puede afirmar que la cantidad de energía producida depende en alto grado de la intensidad de la radiación solar incidente, independientemente de la temperatura y precipitaciones de la zona, las cuales son constantes y abundantes a lo largo de todo el año en la Región Huetar Norte. Este hecho se hace especialmente notable en los fotovoltaicos, cuya producción de energía eléctrica varía linealmente con la luz que incide sobre el panel, por lo cual siempre es preciso colocar los paneles en la posición sur-sur y ángulo que aproveche al máximo la luz incidente (Benítez-Salazar et al. 2013)

Como bien es sabido un 7% de la energía producida en Costa Rica se genera con fuente térmica, mientras que el 93% de la energía generada en el país procede de fuentes no fósiles (ICE, 2010). Esto hace que la cantidad de CO₂ que se evita emitir a la atmósfera con los sistemas solares no es tan significativo como puede serlo en otros países más dependientes de los combustibles fósiles. No obstante, aunque las centrales hidroeléctricas no contaminen en términos de 0 emisión de GEI, esto no significa que no supongan un impacto ambiental sobre las

regiones donde se construyen. Desvíos de los ríos e impacto directo sobre el microclima y fauna piscícola, deforestación y expropiación de tierras por inundación, son algunas de sus consecuencias más negativas. Esto permite comprobar que la energía solar se destaca por ser una tecnología sostenible, viable y factible en diversos usos domésticos, industriales y en aplicaciones tecnológicas (Iglesias-Ferrer y Morales-Salas, 2013).

En cuanto al ahorro mensual que suponen actualmente los sistemas solares, la recuperación de la inversión inicial se da actualmente en 9 años, con una vida útil de los paneles que sobrepasa los 25 años (González, 2009). No obstante, según la estimación a futuro realizada por la Cámara de Industrias de Costa Rica (CICR, 2016), el incremento medio anual en la factura eléctrica nacional ha sido de 14,3%, y se espera que continúe con dicha tendencia e incluso se encarezca todavía más, lo que hará que la inversión se recupere tres años antes. En Costa Rica, la energía continua es mayoritariamente hidroeléctrica, y es en épocas secas cuando se viene utilizando de manera gradual la generación térmica con combustibles importados (Dirección Sectorial de Energía, 2012). Esta variabilidad climática en cuanto a los regímenes de lluvia se ha visto incrementada en los últimos 10 años, prolongándose el período seco, por lo que será una causa más del progresivo encarecimiento de la electricidad por falta de lluvia en el futuro (Alvarado et al., 2012).

Es preciso señalar que, en el monto calculado, no se tiene en cuenta el costo ambiental que supone la implantación de los sistemas

solares, el cual elevaría significativamente el ahorro de la factura eléctrica. Y es que, actualmente, las empresas no contemplan en su contabilidad los costos medioambientales que generan. Las nuevas normativas medio ambientales y la presión de las organizaciones no gubernamentales y de los organismos de crédito internacionales están modificando esta actitud, y han llevado a las empresas a prestar cada vez más atención a esos costos.

Con el tiempo, la sociedad adoptará las energías renovables, ya que las reservas

de combustibles fósiles son limitadas y sólo son generadas con el transcurso de tiempos geológicos. Por lo tanto, la pregunta no es si la sociedad adoptará las energías renovables, sino cuándo lo hará. Los tiempos de vida de los combustibles fósiles podrían ampliarse gracias a las nuevas tecnologías de extracción, pero la necesidad de minimizar los efectos nocivos del cambio climático es un problema más inmediato que el agotamiento de los combustibles fósiles (Timmons D., Harris J.M y Roach B., 2014).

Conclusiones

Se ha demostrado la eficiencia de los sistemas térmicos solares como alternativa para la generación de energía limpia que pueden ser aplicadas en las explotaciones agropecuarias en Costa Rica y en otras partes del mundo, las cuales contribuyen a disminuir el efecto invernadero y la factura energética. Como se observó en este estudio, ambos tipos de sistemas solares produjeron en el período mayo 2015-abril 2016, el equivalente energético a 4.128 kWh anuales, lo que equivale a 230 Kg CO₂ no emitidos a la atmósfera y un ahorro de €640.257 amortizables en 6-9 años, según las tarifas vigentes en COOPELESCA para la electricidad. De esta forma, se demuestra que los sistemas solares se convierten además en una posibilidad para los productores agropecuarios costarricenses de incorporar un sello ecológico a sus productos para mejorar su imagen pública y distinguirlos de la competencia.

Bibliografía

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA [AIE]. (2010). Las emisiones de CO₂ por kWh de electricidad y calor. Sunearthtool.com. Recuperado de: <http://www.sunearthtools.com/es/tools/CO2-emissions-calculator.php>.

ALVARADO, F.; CONTRERAS, W.; ALFARO, M.; Y JIMÉNEZ, E. (2012). Escenarios de cambio climático regionalizados para Costa Rica. Recuperado de: http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/escenarios_de_cambio_climatico_digital_0.pdf

- BENÍTEZ-SALAZAR V.H.; TORRES VALVERDE, G.A.; GÁMEZ VALDÉZ, L.A.; Pacheco Ramírez, J.H. (2013). Sistema fotovoltaico de iluminación solar. *Epistemus* 15: 86-92.
- MONTENEGRO, C. (junio, 2016). Tarifas en Electricidad y Combustibles para el año 2017: ¿apoyarán o empeorarán la competitividad de la industria? En VII Congreso Nacional de Energía: Futuro del sector y expectativas de tarifas eléctricas y de combustibles. Dirigido por la Cámara de Industrias de Costa Rica. San José, CR. Recuperado de: http://www.cicr.com/wp-content/uploads/2016/07/m.MR_Tarifas_Electricas_Carlos_Montenegro_CICR.pdf
- CROCI, A., y M. PROSPER. (2005). Energía solar térmica. Proyecto de circulación natural y forzada. Recuperado de: <http://www.cesu.es/temas>.
- DIRECCIÓN SECTORAL DE ENERGÍA [DSE]. (2012). Balance energético nacional de Costa Rica. Recuperado de: <http://www.dse.go.cr/es/03Publicaciones/02Estadisticas/balances/DocumentoBalance2011.pdf>
- DÍAZ, J.F. (2015). Conceptos de energía solar térmica. WordPress.com. Recuperado de: <https://juanfrancisco207.wordpress.com/2015/01/31/conceptos-de-energia-solar-termica/>
- ESPEJO MAÑÍN, C. (2004). La energía solar fotovoltaica en España. *Nimbus* 13-14: 5-31.
- GONZÁLEZ, J. (2009). Energías renovables. Editorial Reverté SA, ESP.
- HENLEY, E.J. (1973). Sistemas de unidades. En Henley EJ & Rosen EM (Ed.). *Cálculo de balances de materia y energía* (pp. 31-34). Editorial Reverté SA, ESP.
- INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD [ICE]. (2010). Costa Rica: matriz eléctrica. Recuperado de: https://www.kolbi.cr/wps/wcm/connect/8823524c-7cc7-4cef-abdea1f06e14da0e/matriz_folleto_web2.pdf?MOD=AJPERES&CVID=I8SK4gG.
- ICE (2015). Tarifas del ICE. Alcance Digital, 73.
- IGLESIAS FERRER, J.M.; MORALES SALAS, J. (2013). Dimensionado de un sistema térmico solar mediante simulación y su validación energética. *Ingeniería Energética* 34: 55- 65.
- MATTHEW, C. (2006). La ganadería amenaza el medio ambiente. Organización de las naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/Newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>
- MINISTERIO DE AMBIENTE, ENERGÍA Y TELECOMUNICACIONES [MINAET]. (2011). VI Plan Nacional de energía 2012-2013. Recuperado de: http://www.dse.go.cr/es/03Publicaciones/01PoliticaEnerg/VI_Plan_Nacional_de_Energia_2012-2030.pdf.
- PORRILLA, R. (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, CR.
- QUIRÓS, L. (2011). Construir América Central y el Caribe. Recuperado de: <http://revistaconstruir.com/construccion-sostenible-un-reto-para-la-region/836/>
- SCHONEWILLE B. D. Y ANDERTON, I. (2005). Vuntut Gwitchin First Nation Community Energy Baseline Study. Edi Environmental Dynamics Inc., Whitehorse (Canada). Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.651.5555&rep=rep1&type=pdf>
- 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. Recuperado de: http://www.solartronic.com/download/Energia_Solar_Conceptos_Basicos.pdf.
- TAIZ, L. Y ZEIGER E. (2002). Chapter 7. Photosynthesis. The light reaction. En Lincoln Taiz (Ed.). *Plant physiology USA*: Sinauer Associates. pp.112- 115.
- TIMMONS D., HARRIS J.M Y ROACH B. (2014). La Economía de las Energías Renovables. Recuperado de: http://www.ase.tufts.edu/gdae/education_materials/modules/EconomiaEnergiasRenovables.pdf.