

“RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS SOLARES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN COSTA RICA”

PROGRAMA LOCAL PILOTO

--Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos (Alajuela)--

DOCINADE, 2016

1. Equipo de trabajo.

2. Introducción.

¿Qué nos proporciona el Sol?

Usos de la energía solar

Razones para su uso

3. Objetivos del proyecto.

4. Metodología.

5. Resultados

Energía producida

Estudio ambiental

Estudio económico

6. Conclusiones

7. Aplicaciones

8. Contacto.

Equipo de Trabajo

	Nombre y Grado académico	Universidad y Escuela o dependencia
Responsable	Dr. Tomás Guzmán Hernández	ITCR – DOCINADE Escuela de Agronomía
Otros académicos(as), funcionarios(as) o estudiantes participantes	Dr. Freddy Araya Rodriguez	ITCR – DOCINADE
	Dr. Javier Obando Ulloa	ITCR – DOCINADE
	Lic. Guillermo Castro Badilla	ITCR Escuela de Electrónica
	M.Cs. Mikel Rivero Marcos	Universidad Pública de Navarra (España)
Profesionales del MAG	Beatriz Corrales	MAG-Zona Norte (Sta. Rosa)
	Olman Villegas	MAG-ZN (Guatuso)
	Carlos Porras	MAG-ZN (Los Chiles)

INTRODUCCIÓN

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 al cambio climático, la captura local de carbono y poder mitigar el efecto de invernadero a nivel de local, nacional y a nivel de todo el planeta.

Además el uso de tecnologías limpias, ligadas a una nutrición más sana, ecológica y sobre la base de bancos locales o internos de proteína, se podría lograr un valor agregado adicional y proponer en la Cooperativa, una etiqueta de “leche verde” o “leche ecológica”.



¿Qué nos proporciona el Sol?



¿Qué nos proporciona el Sol?

LUZ

CALOR

ENERGÍA

USOS DE LA ENERGÍA SOLAR



BIOLÓGICOS: La Fotosíntesis

LUZ + agua + CO_2 + Sales



Glucosa + O_2

Tecnológicos

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS:
Generación de electricidad para diversos usos**



Tecnológicos

SISTEMAS TÉRMICOS

Calentamiento de fluidos para diversos usos



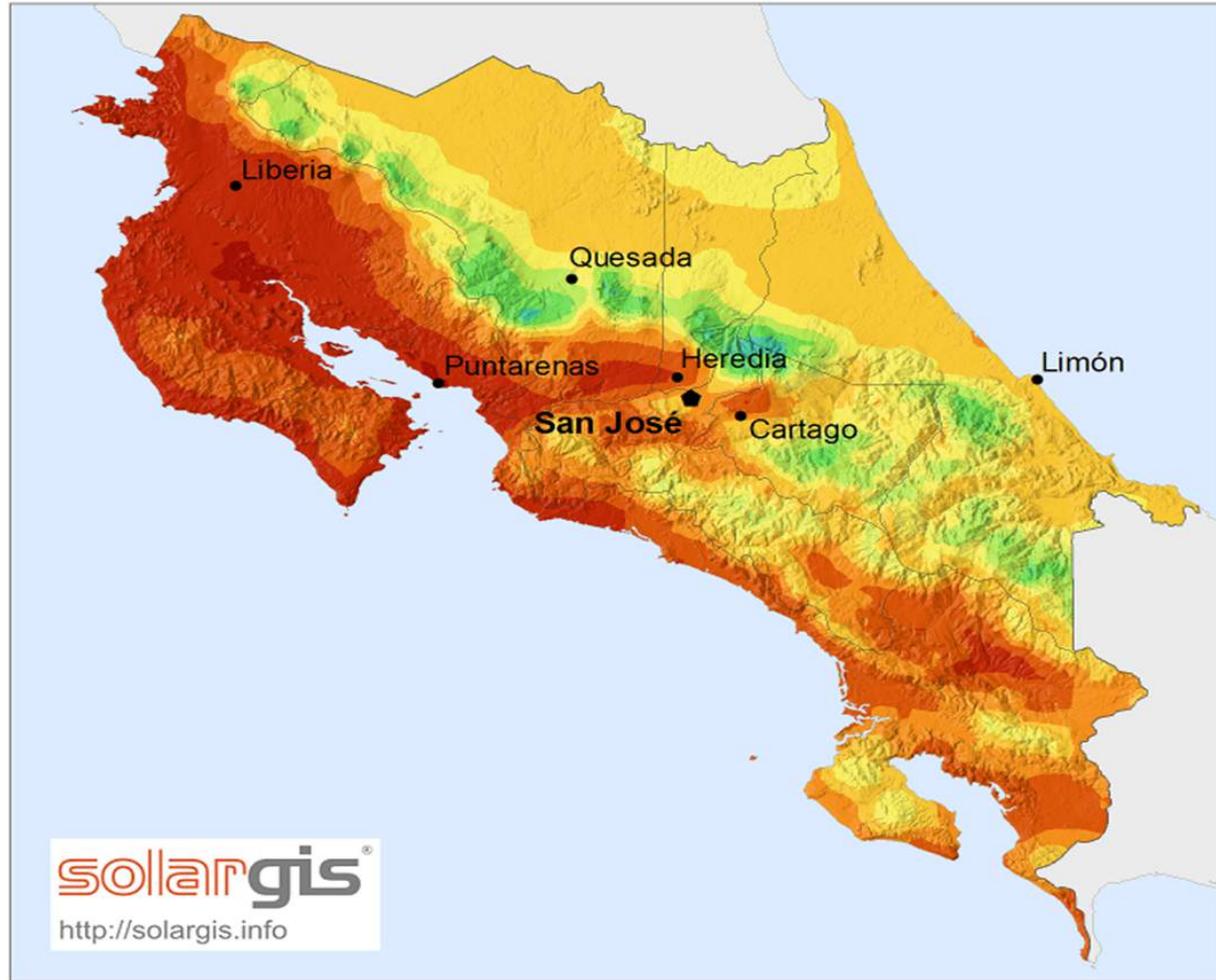


RAZONES PARA USAR ENERGÍA SOLAR

Razones para su uso: Costa Rica

Global Horizontal Irradiation

Costa Rica



Yearly sum of global horizontal irradiation, average 1999-2012



0 50 km

SolarGIS © 2013 GeoModel Solar

Fuente de energía	Energía total que absorbe el planeta (EJ)
Solar	3.850.000
Eólica	2.250
Biomasa	3.000
Electricidad	56,7

Razones para su uso: Costa Rica



Razones para su uso

La energía solar aumentará la sostenibilidad de cualquier sistema por:

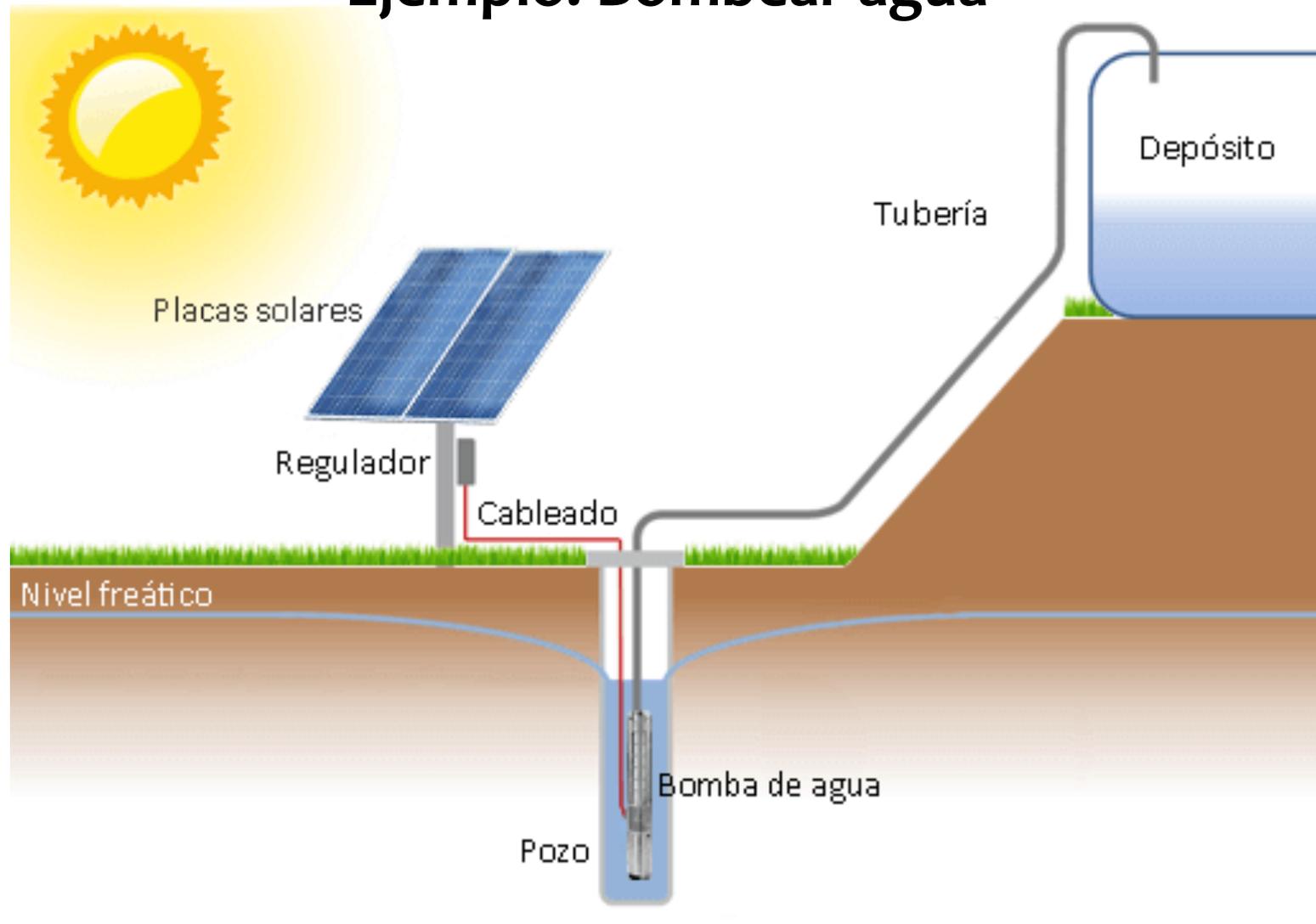
- ✓ Reducción de la contaminación ambiental.
- ✓ Disminución de los costos de diferentes tipos de facturas económicas.
- ✓ Mitigación del cambio climático.
- ✓ Es una energía absolutamente limpia.
- ✓ Evitará la subida excesiva de los precios de los combustibles fósiles.
- ✓ Mayor valor agregado por sostenibilidad.

Razones para su uso

- ✓ Calentamiento de agua, para esterilizar equipos limpieza fitosanitaria e hidrotratamientos a semillas.
- ✓ Calentamiento de agua para pasteurización.
- ✓ Calentamiento de agua para generar vapor.
- ✓ Calentamiento de aire, para secado.
- ✓ Generación de corriente para cercas eléctricas en ganadería, equipos agrícolas y cultivo.
- ✓ Uso para bombas de agua para uso doméstico, agrícola y de riego.
- ✓ Uso doméstico en instalaciones habitacionales alejadas de centros de distribución eléctrica.
- ✓ **Otros usos...**.cocinas, restaurantes, hoteles, etc., ...

Razones para su uso

Ejemplo. Bombear agua



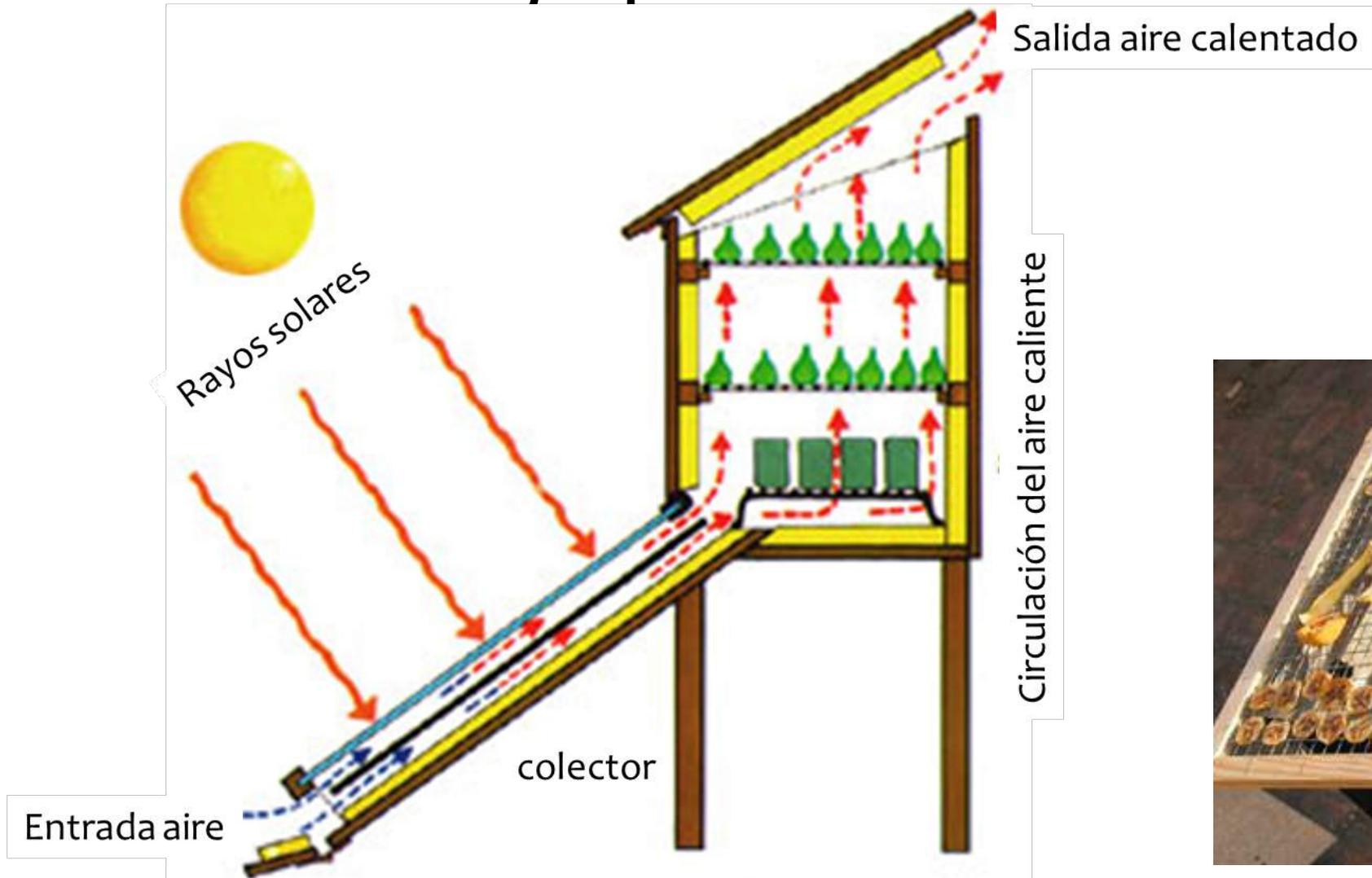
Razones para su uso

Ejemplo. Accionar maquinaria



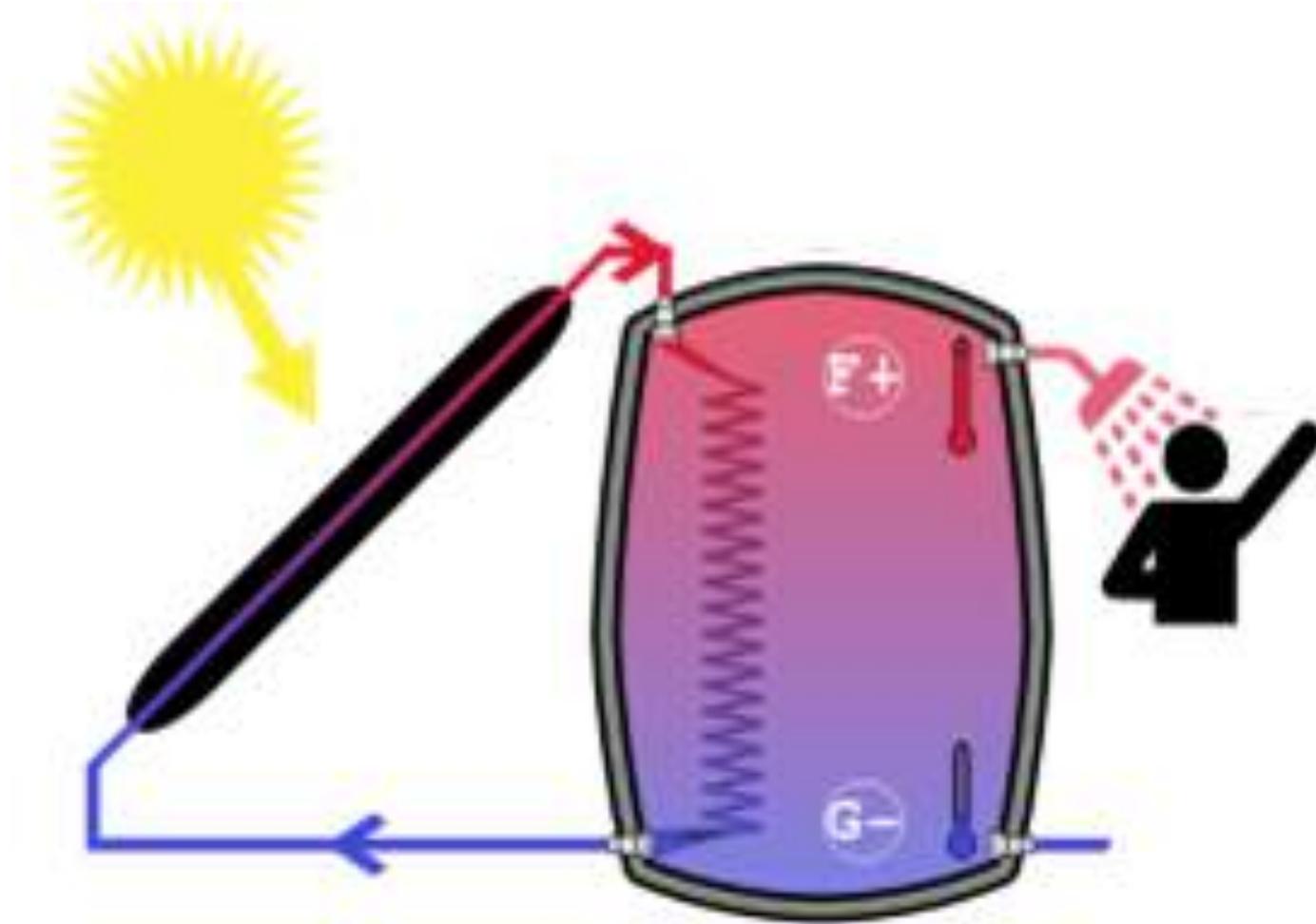
Razones para su uso

Ejemplo. Secador solar



Razones para su uso

Ejemplo. Agua caliente



Objetivos del Proyecto

El problema a resolver debe convertirse en el objetivo a alcanzar...



Objetivos del Proyecto

GENERAL

Aplicar sistemas solares de captación térmica y eléctrica para el calentamiento de agua y producción de energía en unidades de producción agropecuaria

Específicos:

1. Evaluar el potencial del sistema de captación térmica en la zona de Santa Clara de Florencia y San Carlos, mediante el registro de las variables relacionadas con los sistemas y el procesamiento de estas a través de un sistema computarizado de base de datos.
2. Transferir los resultados a través de un programa de capacitación a productores y estudiantes sobre el uso de sistemas solares térmicos en unidades de producción agropecuaria.

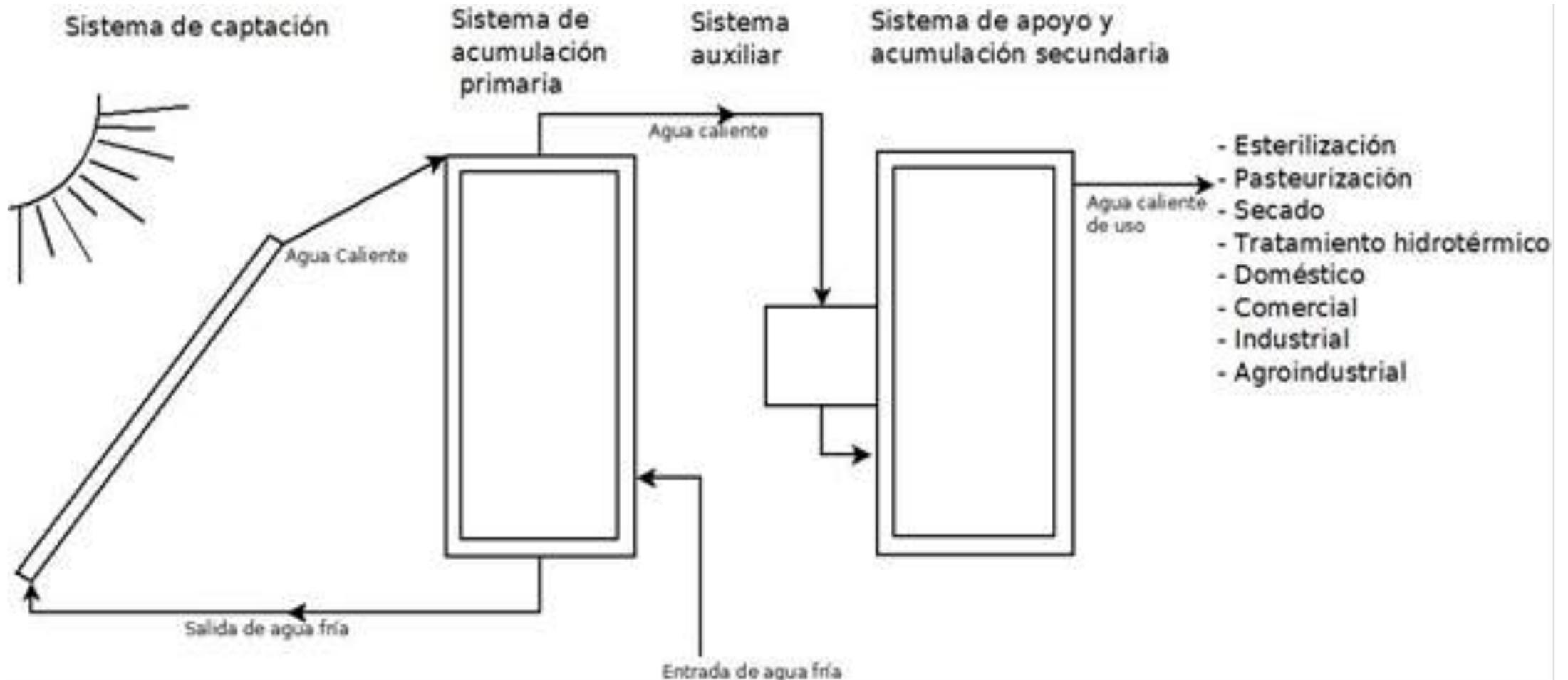
Metodología. N°1: SISTEMAS TERMOSIFÓNICOS

Se diseñaron y construyeron dos sistemas solares termosifónicos híbridos para calentamiento de agua para uso de lecherías:

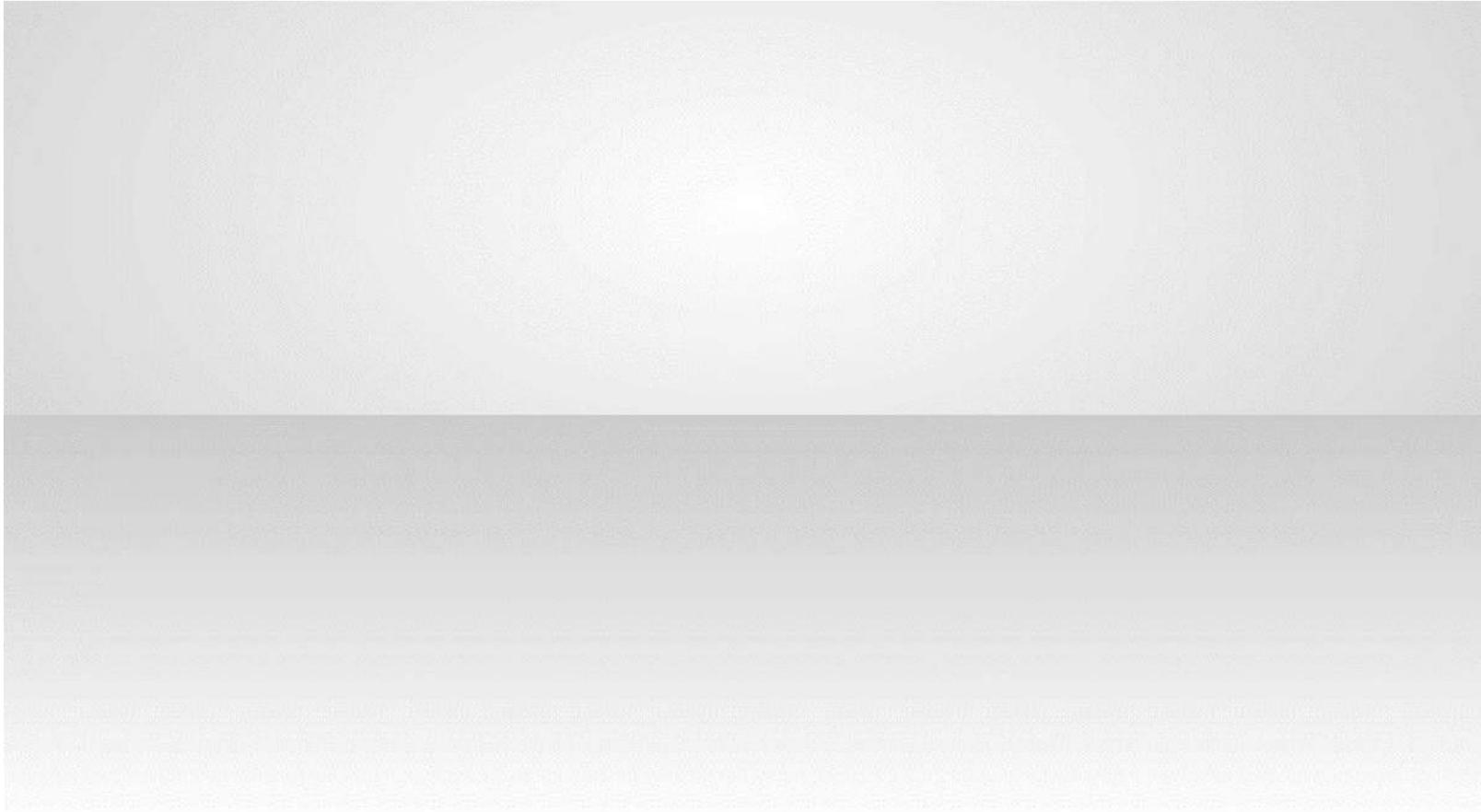
- a. Lechería del Programa de Producción Agropecuaria del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en la Escuela de Agronomía, de la Sede Regional de San Carlos.**
- b. Lechería de la Escuela Técnica Agrícola e Industrial (ETAI).**

Metodología. N°1: SISTEMAS TERMOSIFÓNICOS

Sistema Térmico Termosifónico. Funcionamiento básico



Sistema termosifónico

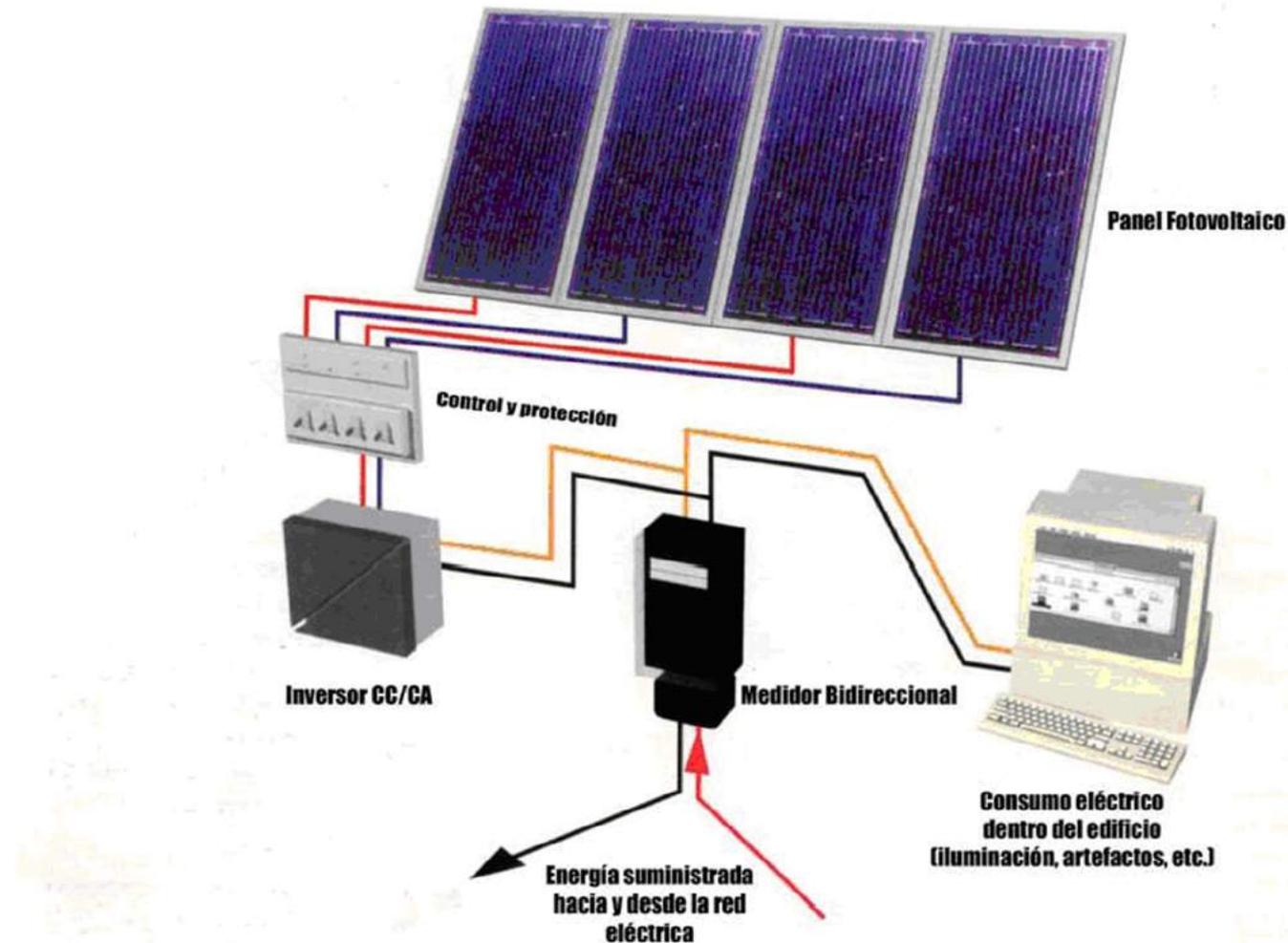


Metodología. N°2: SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Se diseñó un Sistema Fotovoltaico de 2 kW, para Lechería del Programa de Producción Agropecuaria del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en la Escuela de Agronomía, de la Sede Regional de San Carlos.

Metodología. N°2: SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Sistema Fotovoltaico. Funcionamiento básico



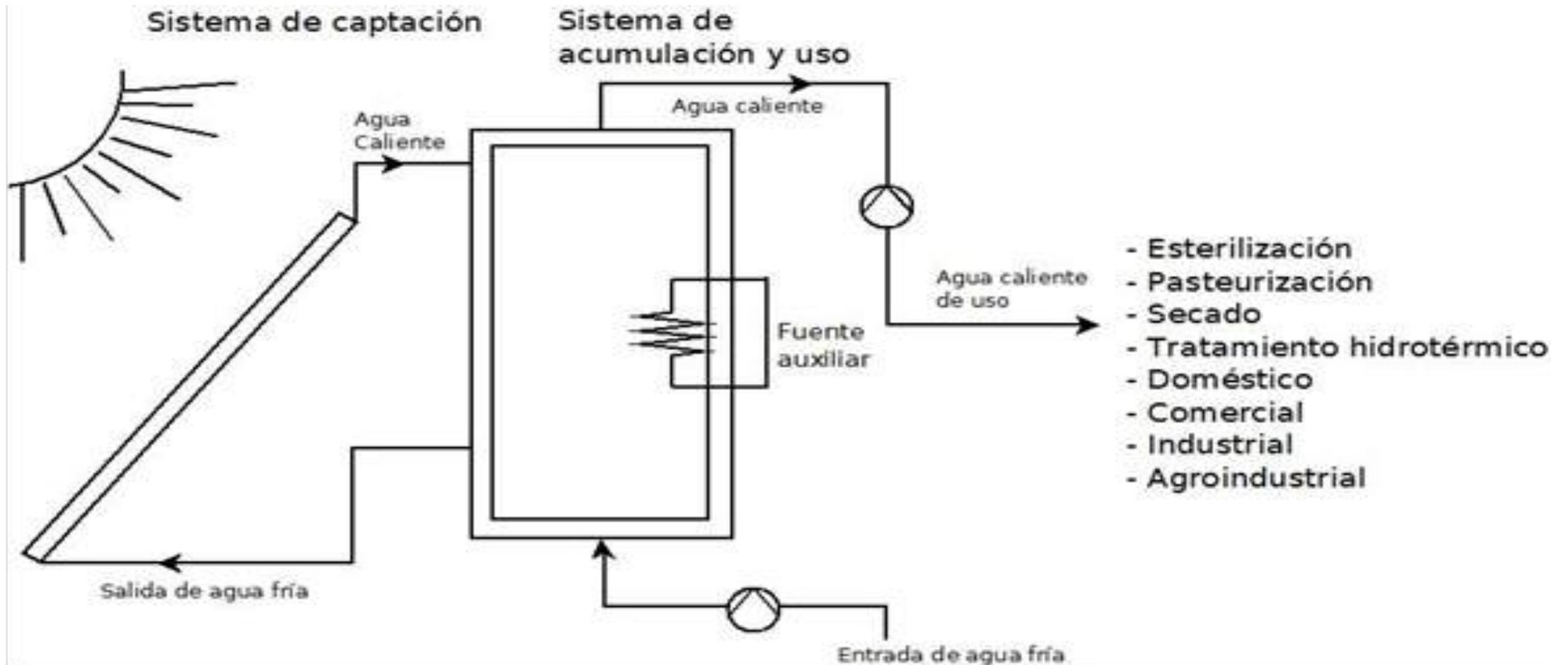
Metodología. N°3: SISTEMAS FORZADOS-HÍBRIDOS

Se diseñaron dos **sistemas solares térmicos forzados-híbridos** para pasteurización de leche, para la producción de quesos, yogurt y natillas.

- a. **Asociación de productores de leche LLAFRAK.**
- b. **Asociación de productores de leche San Bosco.**

Metodología. N°3: SISTEMAS FORZADOS-HÍBRIDOS

Sistema termosifónico híbrido-forzado. Funcionamiento básico



Metodología. N°4: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Se comenzó a generar y evaluar datos de interés que muestren el potencialidad de la energía solar en actividades agropecuarias en la región Huetar Norte de Costa Rica.



Proyectos

Lechería ITCR: Sistemas fotovoltaicos (dcha.) y termosifónicos (izda.)



Proyectos Lácteos LLAFRAK

Sistema térmico híbrido forzado



Proyectos Lácteos San Bosco

Sistema térmico híbrido forzado



Proyectos

Escuela Técnica Agrícola e Industrial (ETAI)

Sistema térmico híbrido termosifónico



Proyectos

Centro de Investigación en Agroindustria, Biotecnología y Veterinaria

Sistema térmico híbrido termosifónico



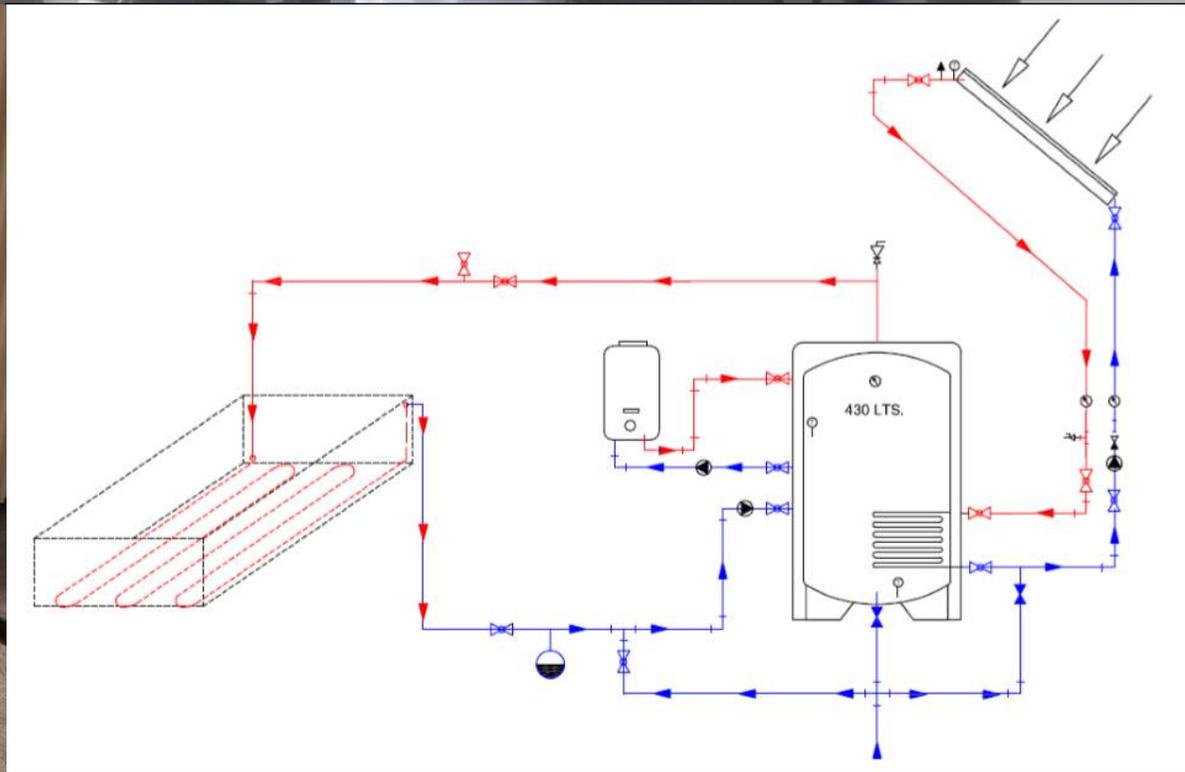
Próximamente: Coope-lácteos R.L



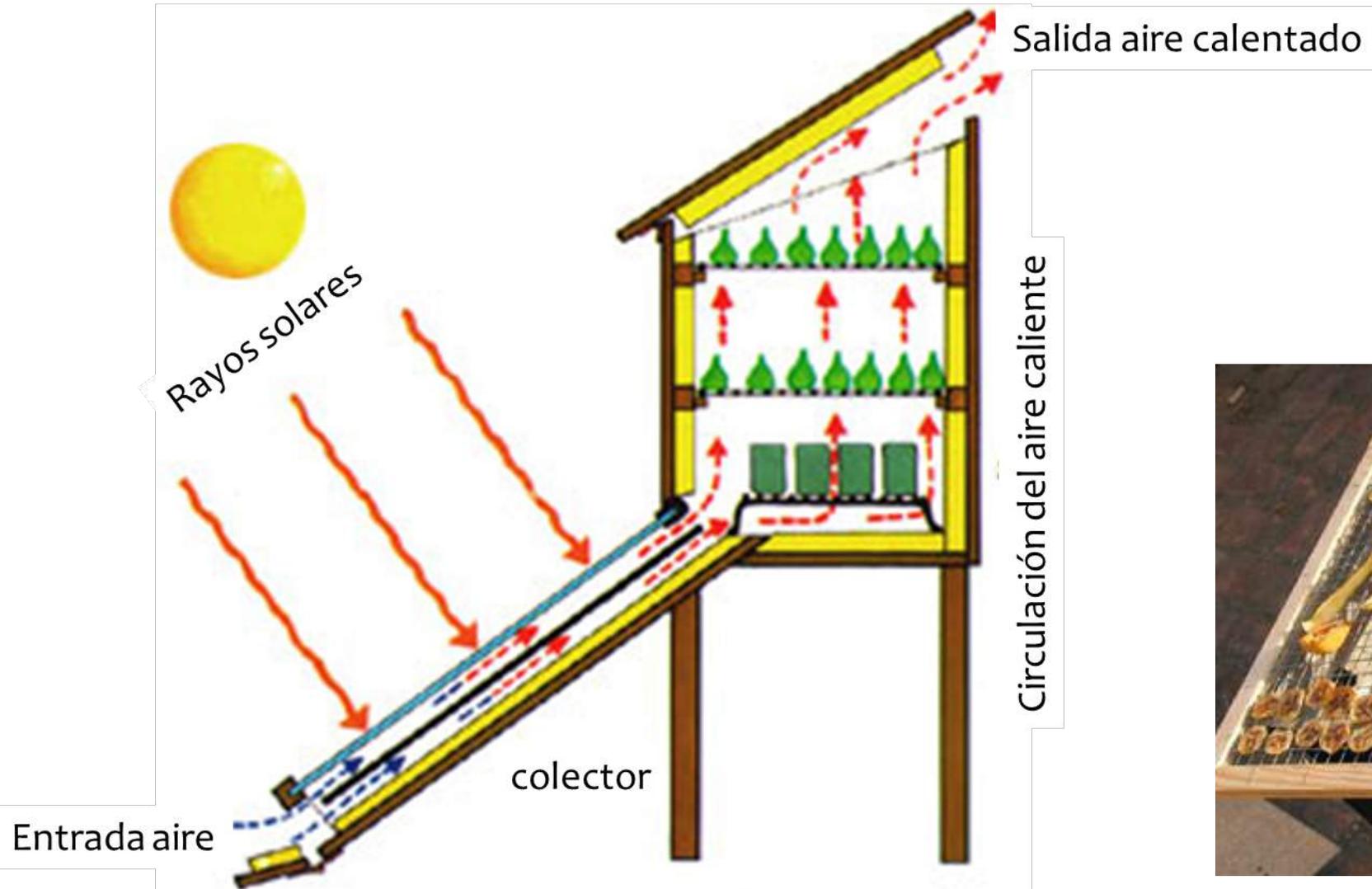
Próximamente: Coope-lácteos R.L



Próximamente: Coope-lácteos R.L



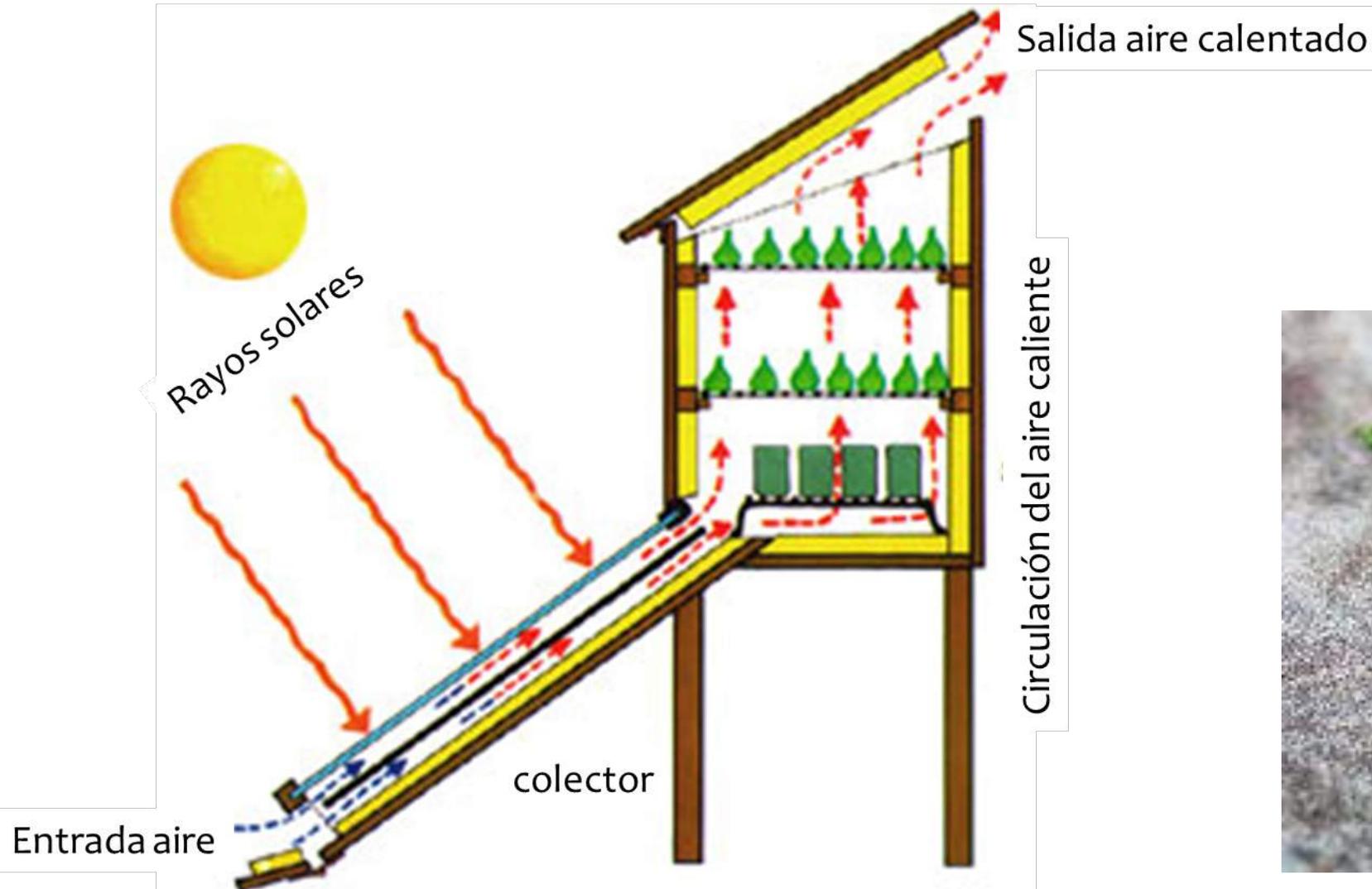
Próximamente: Secador solar para frutas (Asociación de Mujeres Emprendedoras de arapiquí, AMES)



Próximamente: Secador solar para pimienta (Asociación de Productores de Pimienta de Sarapiquí)



APROPISA
Asociación de Productores
de Pimienta de Sarapiquí



RESULTADOS EN EL ITCR-SCC:

ENERGÍA PRODUCIDA

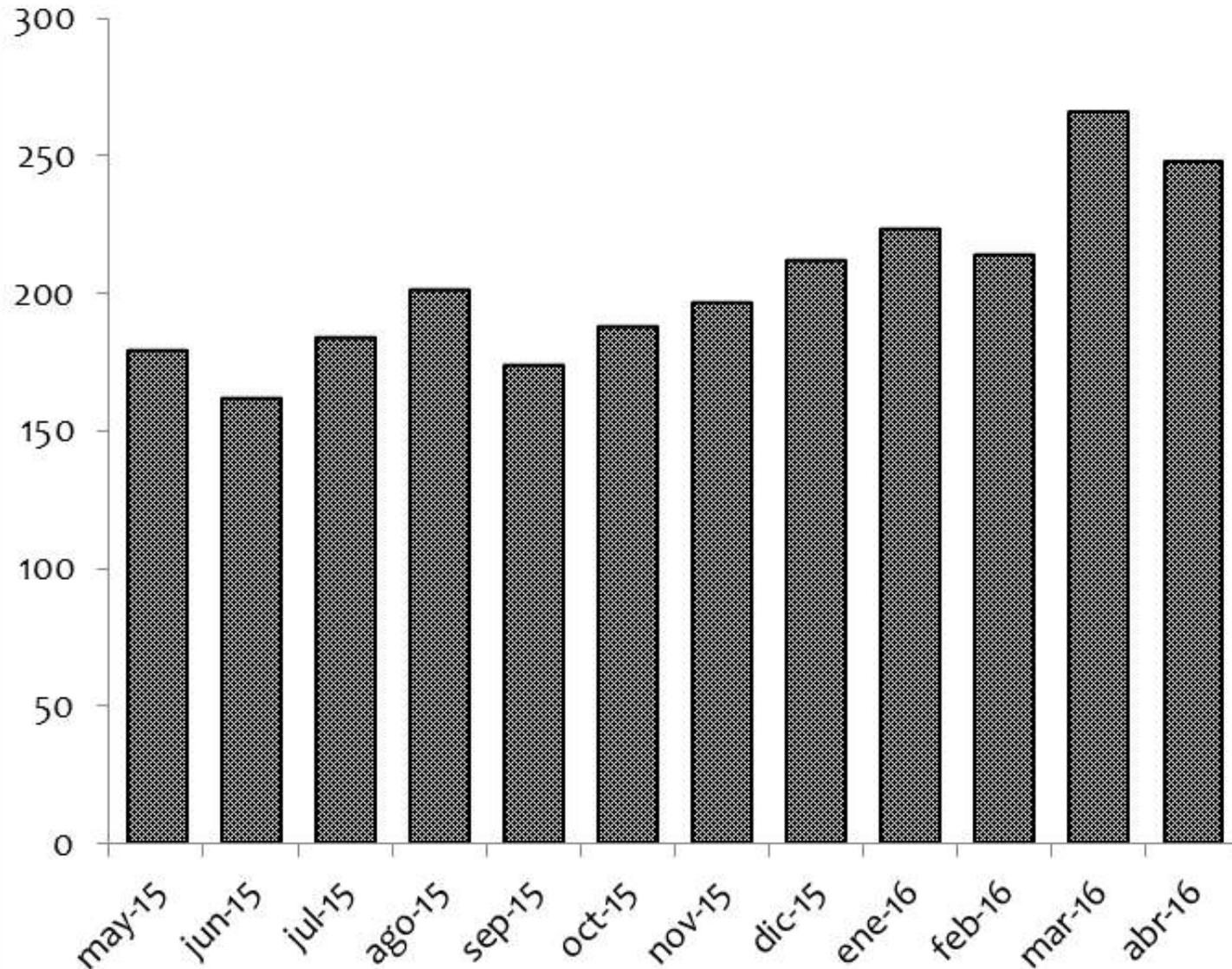
RESULTADOS:



FOTOVOLTAICOS

RESULTADOS. Energía producida al mes

FOTOVOLTAICOS

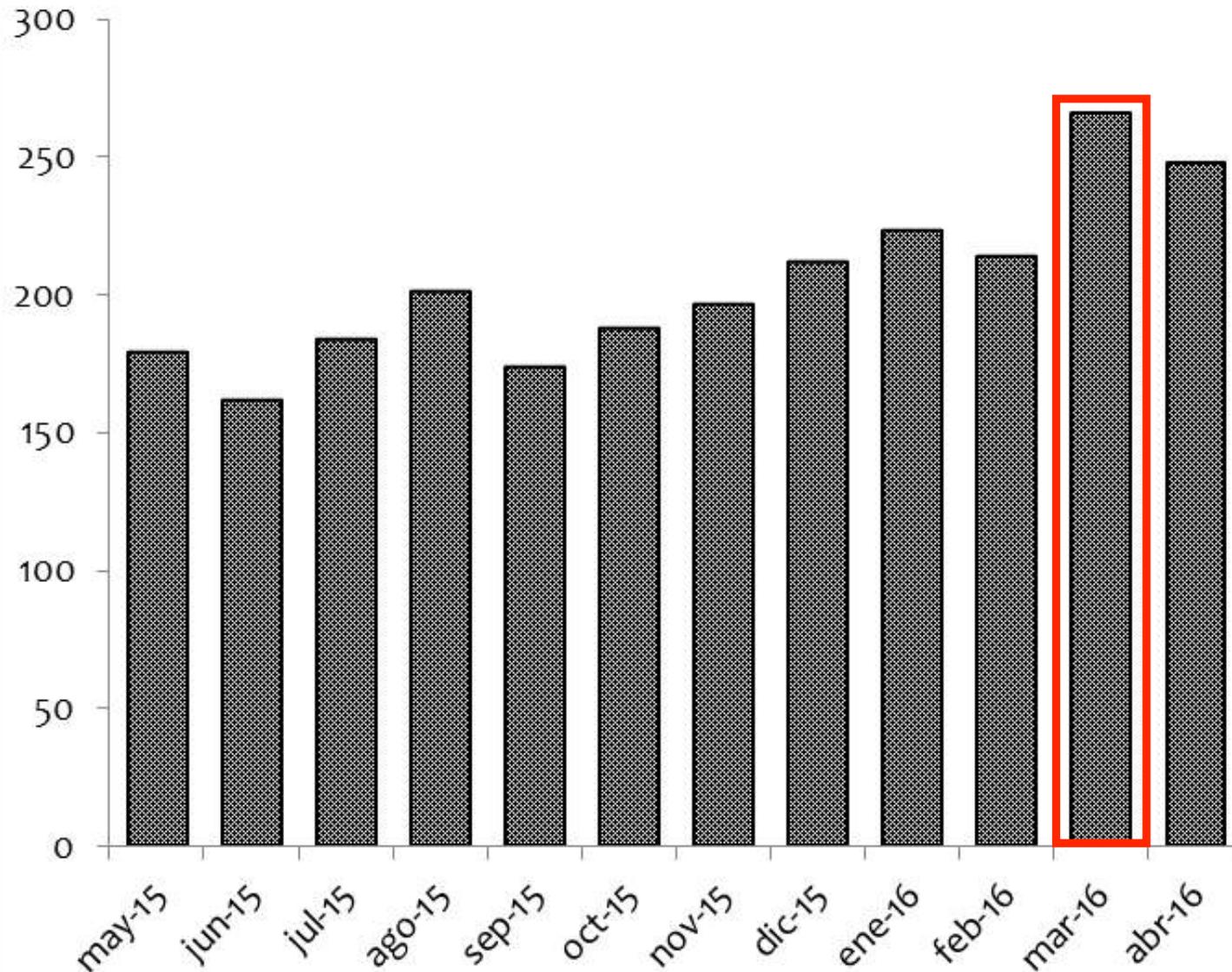


~150-250 kWh/mes

■ kWh generados

RESULTADOS. Energía producida al mes

FOTOVOLTAICOS

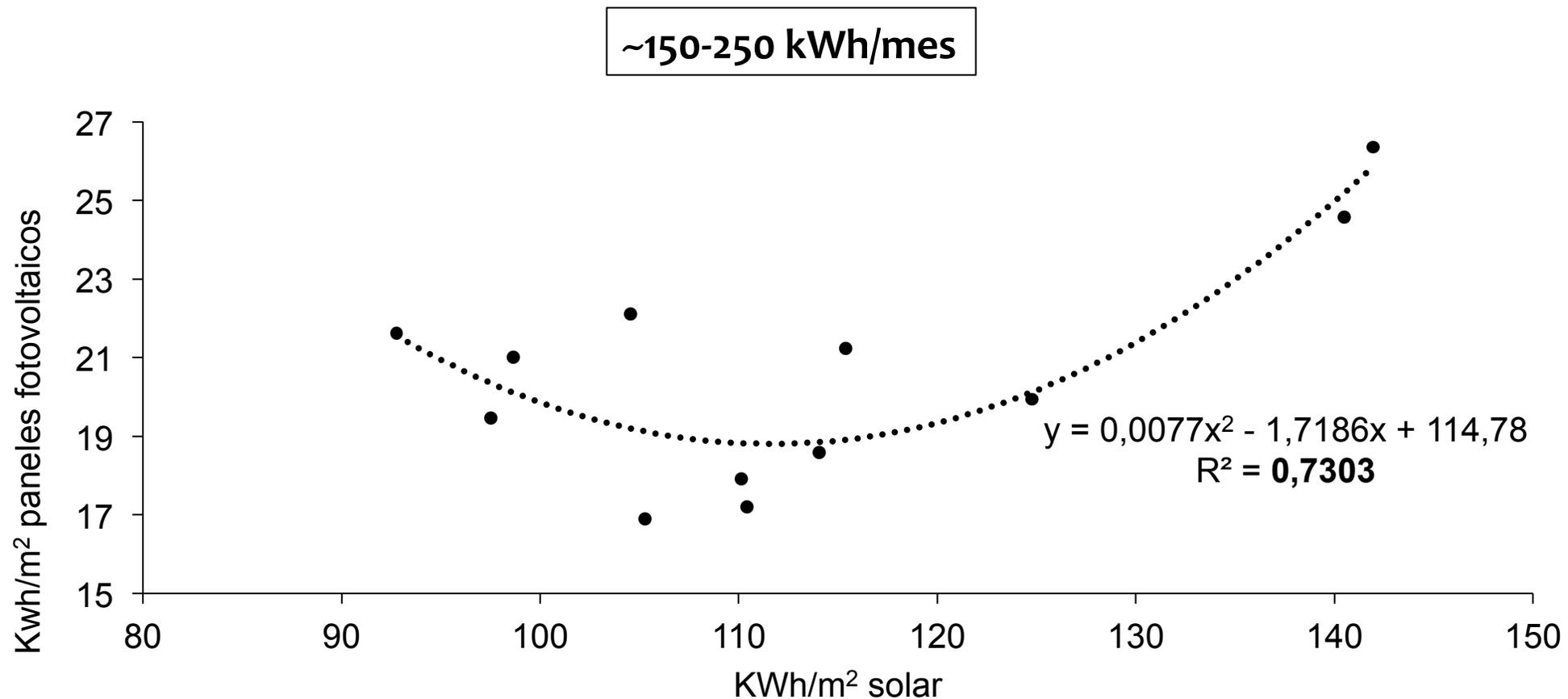


~150-250 kWh/mes

■ kWh generados

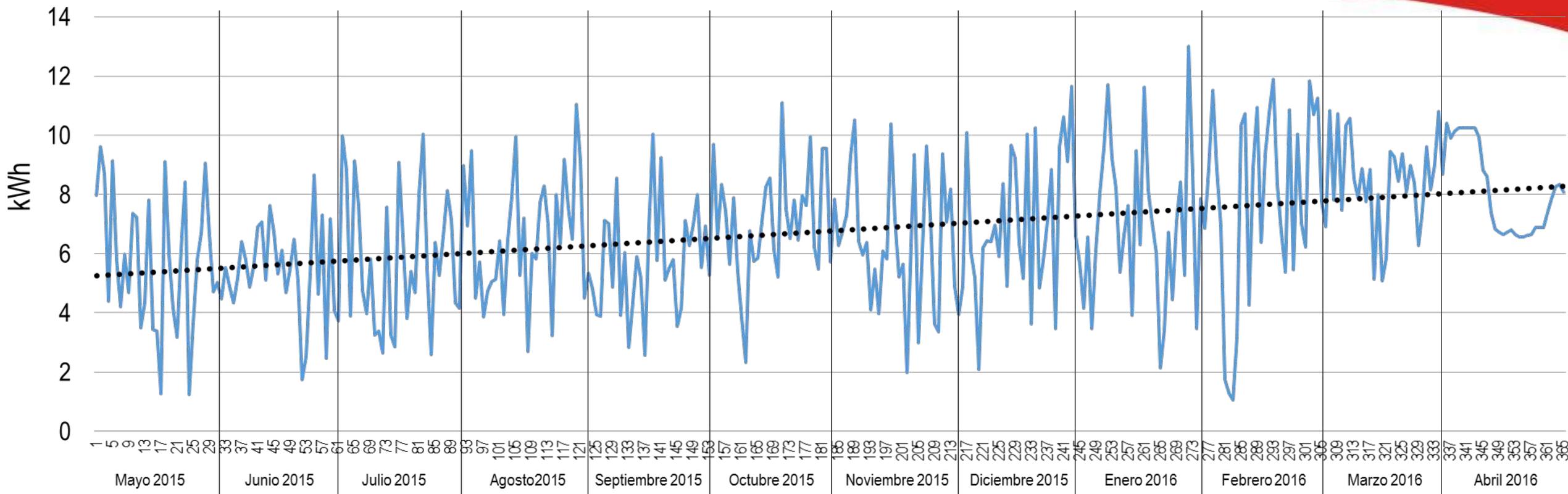
RESULTADOS. Energía producida al MES FOTOVOLTAICOS

Correlación alta entre la radiación incidente y la energía generada por m²



RESULTADOS. Energía producida DÍA a DÍA

FOTOVOLTAICOS



~5-8 kWh/día

~150-250 kWh/mes

<https://enlighten>

Cada 15 min

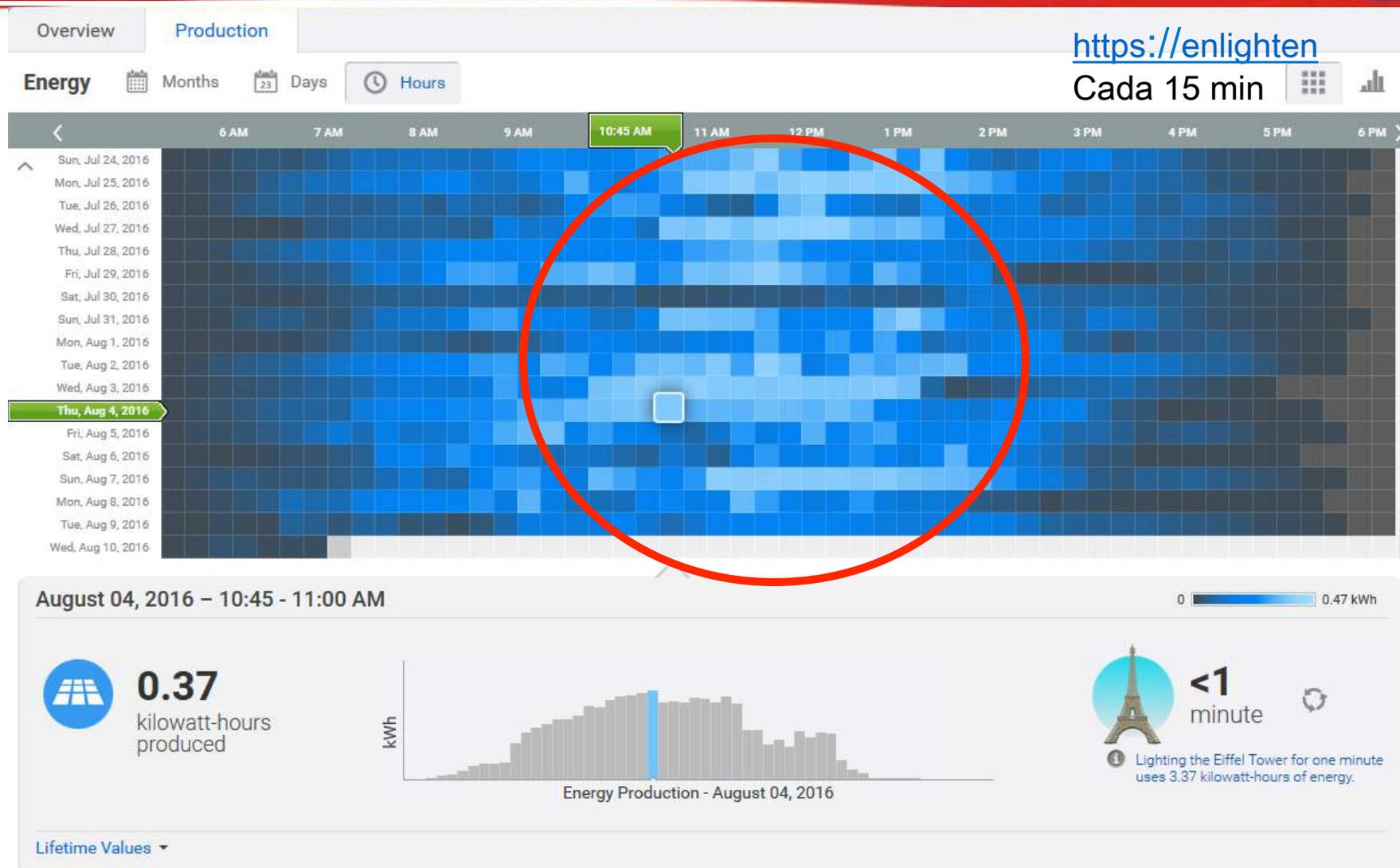
RESULTADOS. Energía producida cada 15 minutos FOTVOLTAICOS



Wh watt-hours

Energy production and usage is measured in watt-hours (Wh). A kilowatt-hour (kWh) is equal to 1,000 watt-hours, and is the unit commonly used by electric utilities on monthly bills. [Learn more about how energy is measured.](#)

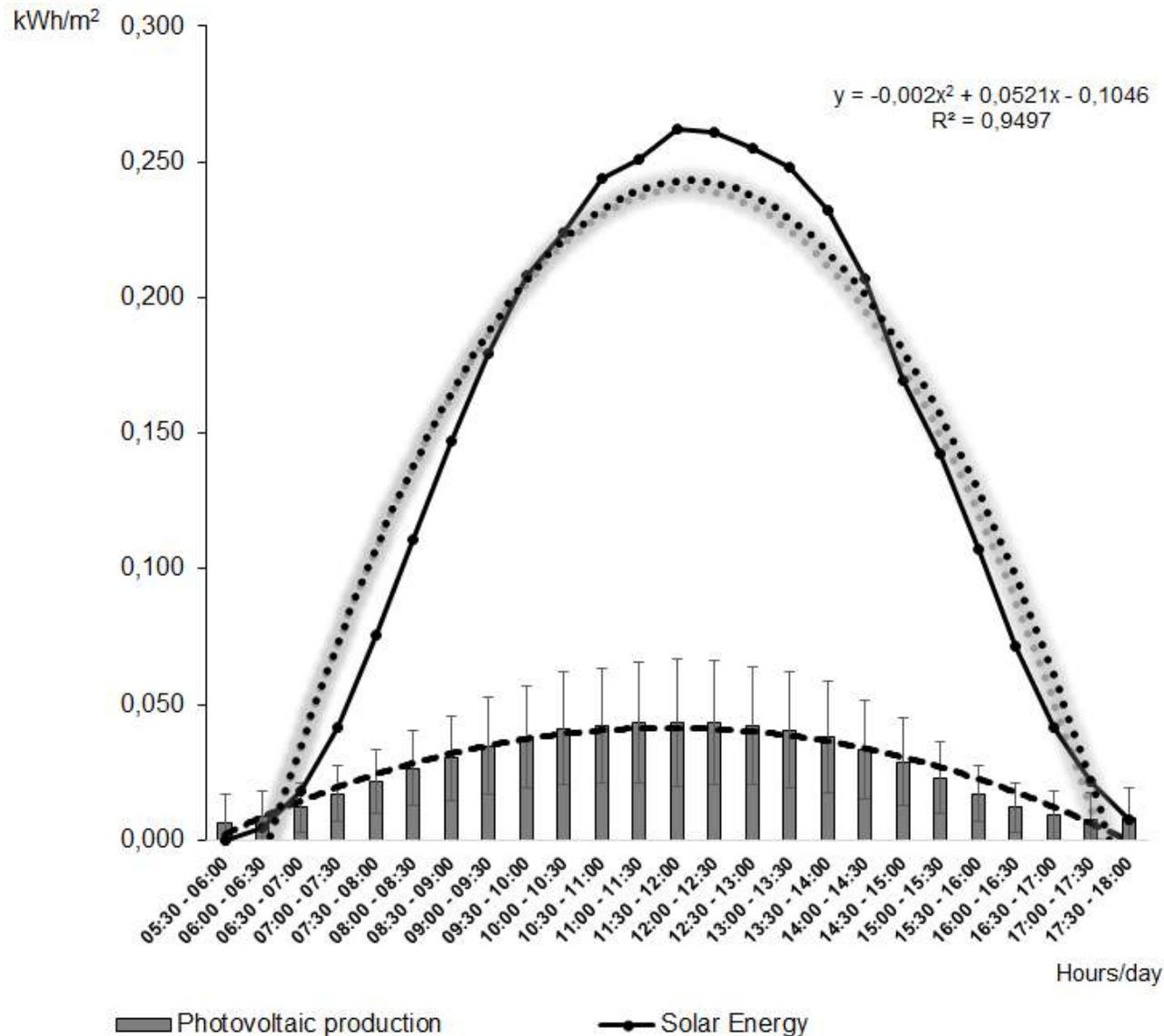
RESULTADOS. Energía producida cada 15 minutos FOTOVOLTAICOS



Wh watt-hours

Energy production and usage is measured in watt-hours (Wh). A kilowatt-hour (kWh) is equal to 1,000 watt-hours, and is the unit commonly used by electric utilities on monthly bills. [Learn more about how energy is measured.](#)

RESULTADOS. Energía en un DÍA FOTOVOLTAICOS



~17% de eficiencia

Correlación muy alta entre intensidad de la radiación solar y energía generada a lo largo de un día.

RESULTADOS:

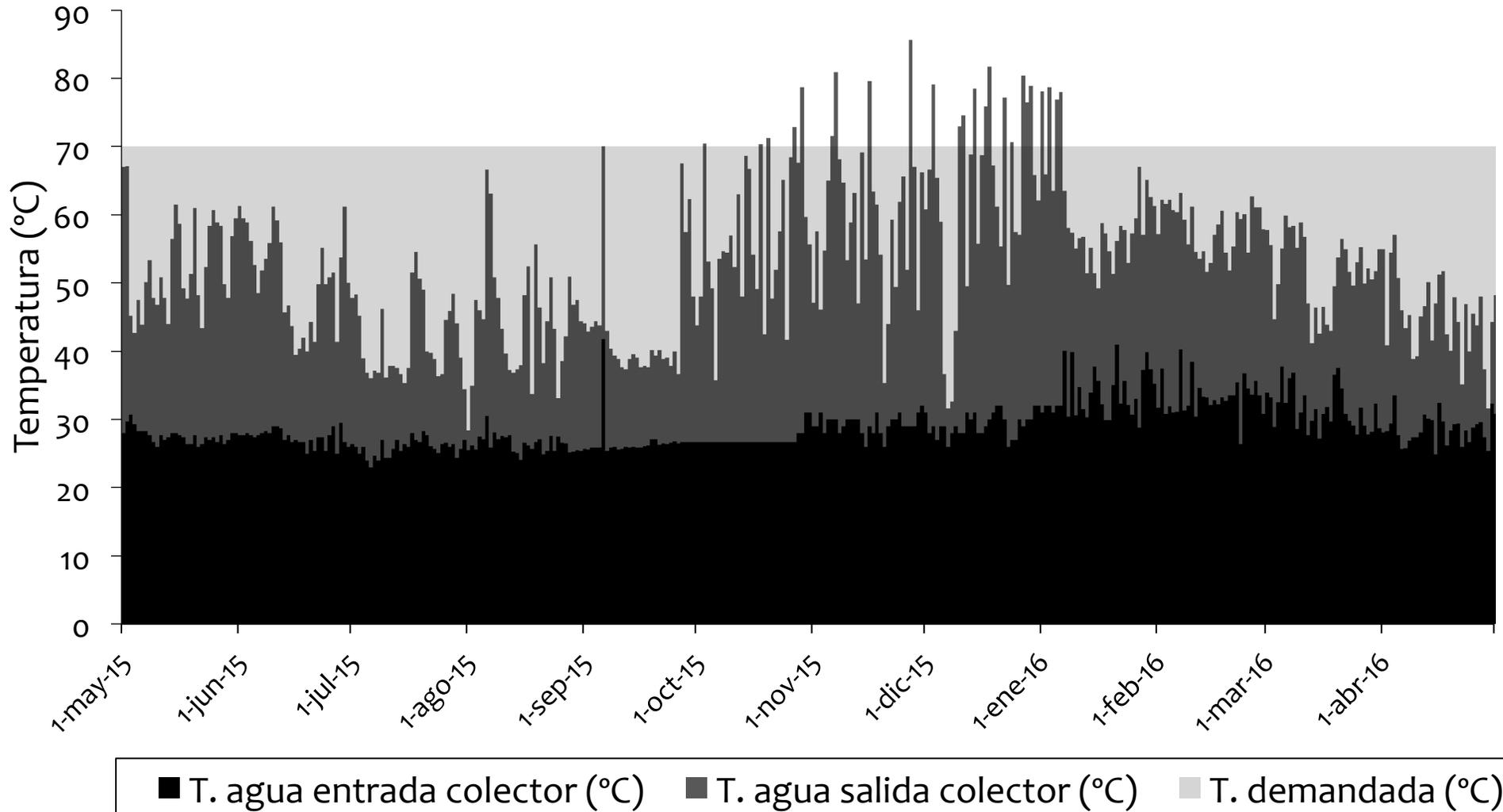


TÉRMICOS

RESULTADOS. Energía producida diariamente

TÉRMICOS

Incremento de la temperatura del agua

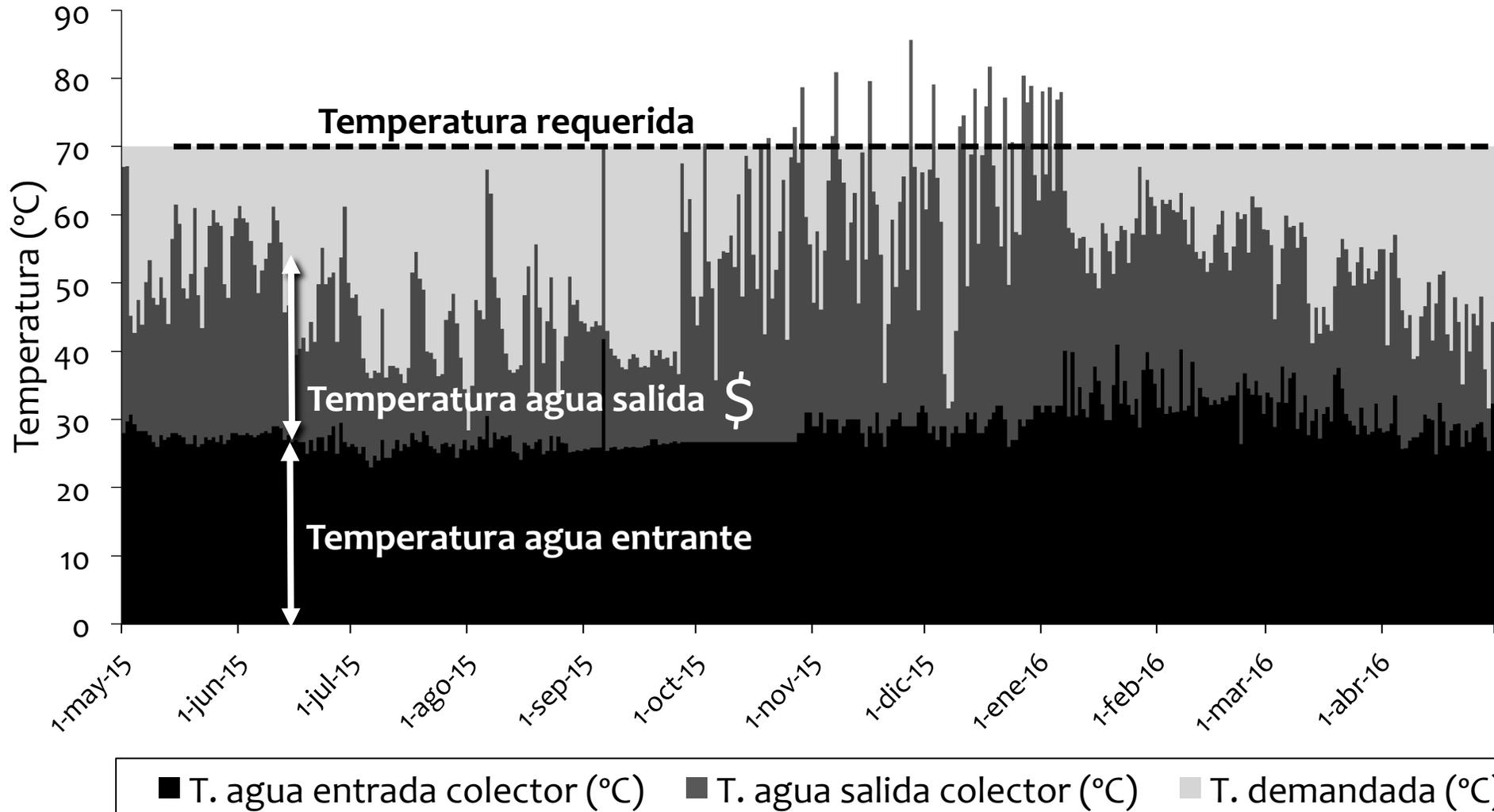


Mes	T. MÁX (°C)
may	73
jun	75
jul	72,5
ago	81,44
sep	87
oct	81,44
nov	81,44
dic	72,83
ene	85,61
feb	74,36
mar	85,56

RESULTADOS. Energía producida diariamente

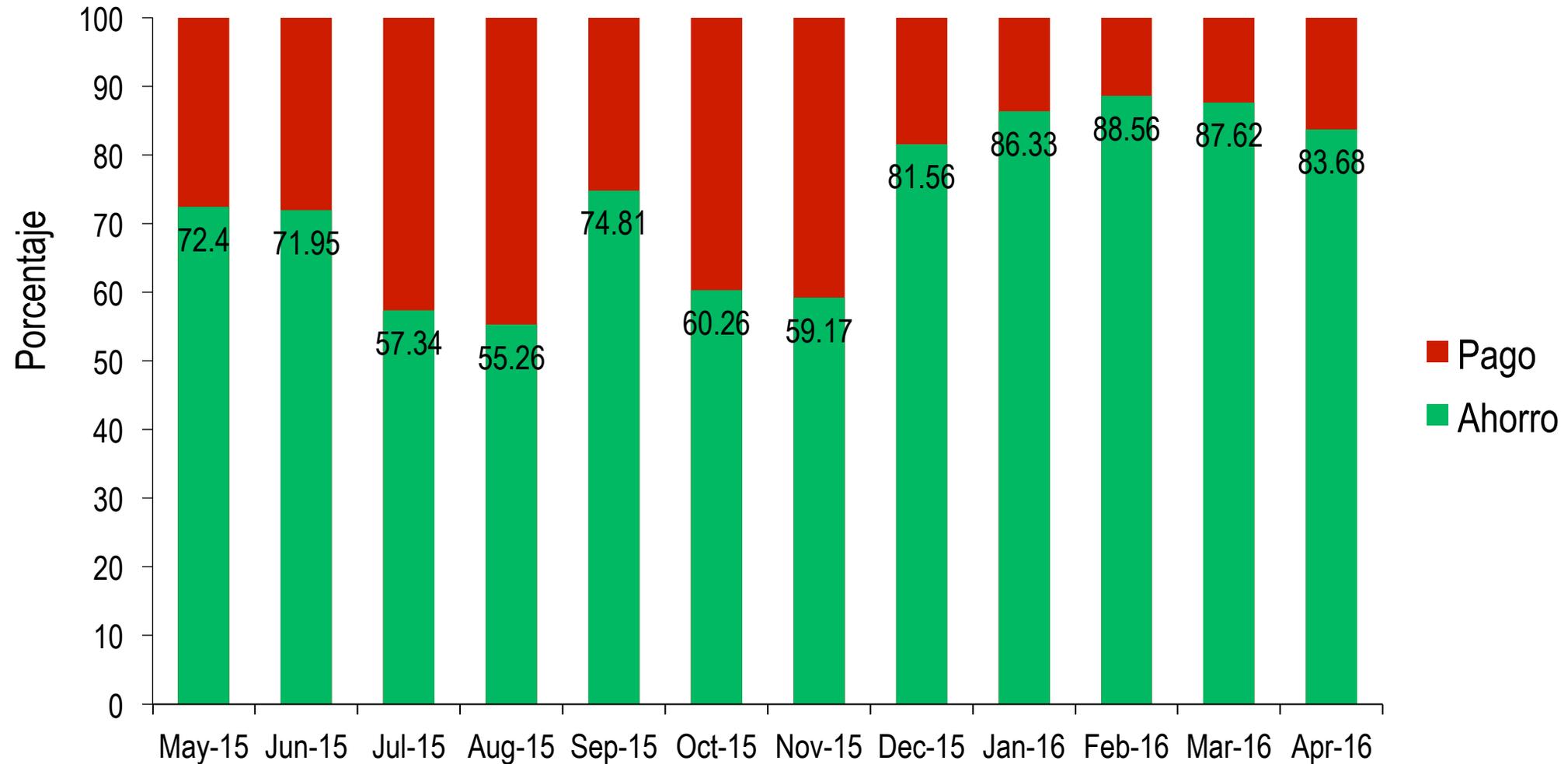
TÉRMICOS

Incremento de la temperatura del agua

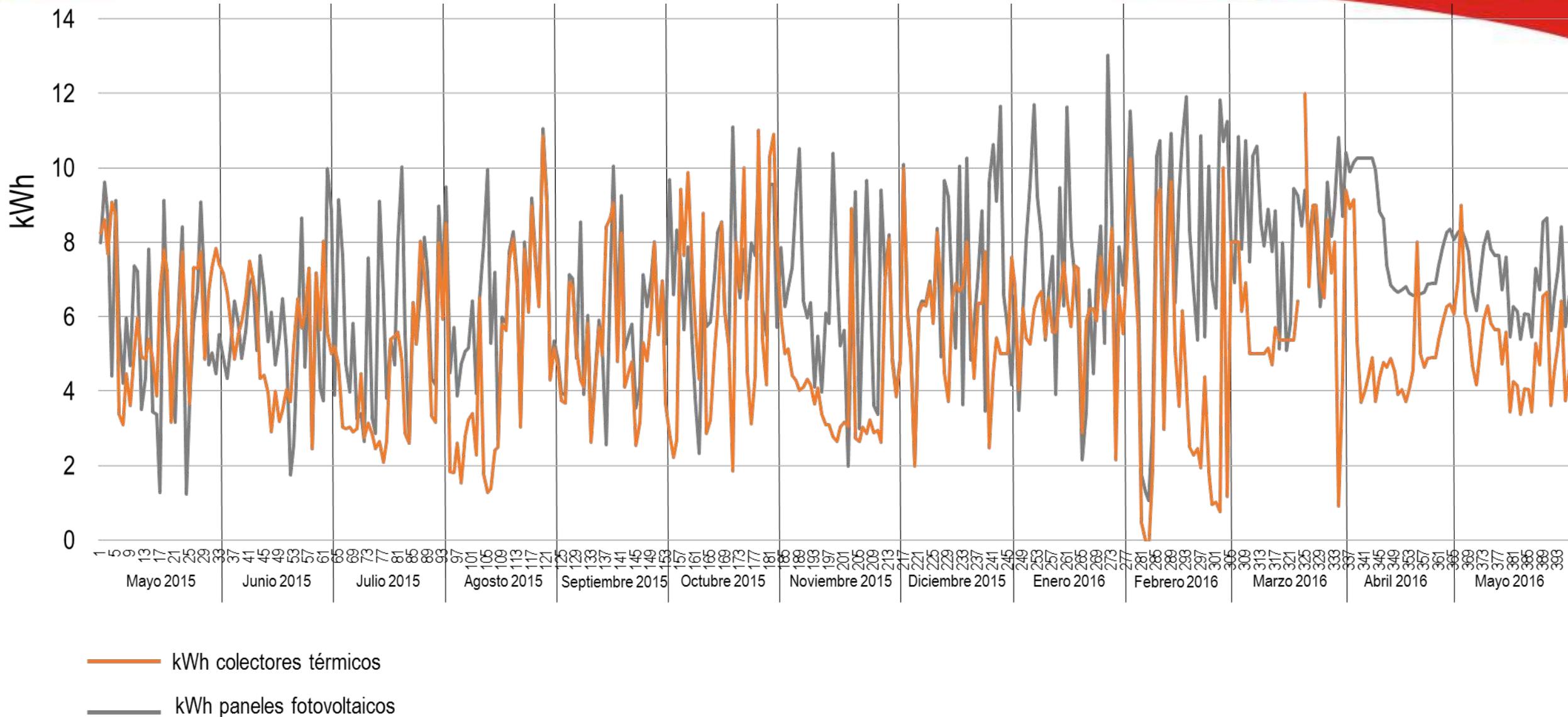


Mes	T. MÁX (°C)
may	73
jun	75
jul	72,5
ago	81,44
sep	87
oct	81,44
nov	81,44
dic	72,83
ene	85,61
feb	74,36
mar	85,56

RESULTADOS. Ahorro mensual para calentar el agua TÉRMICOS

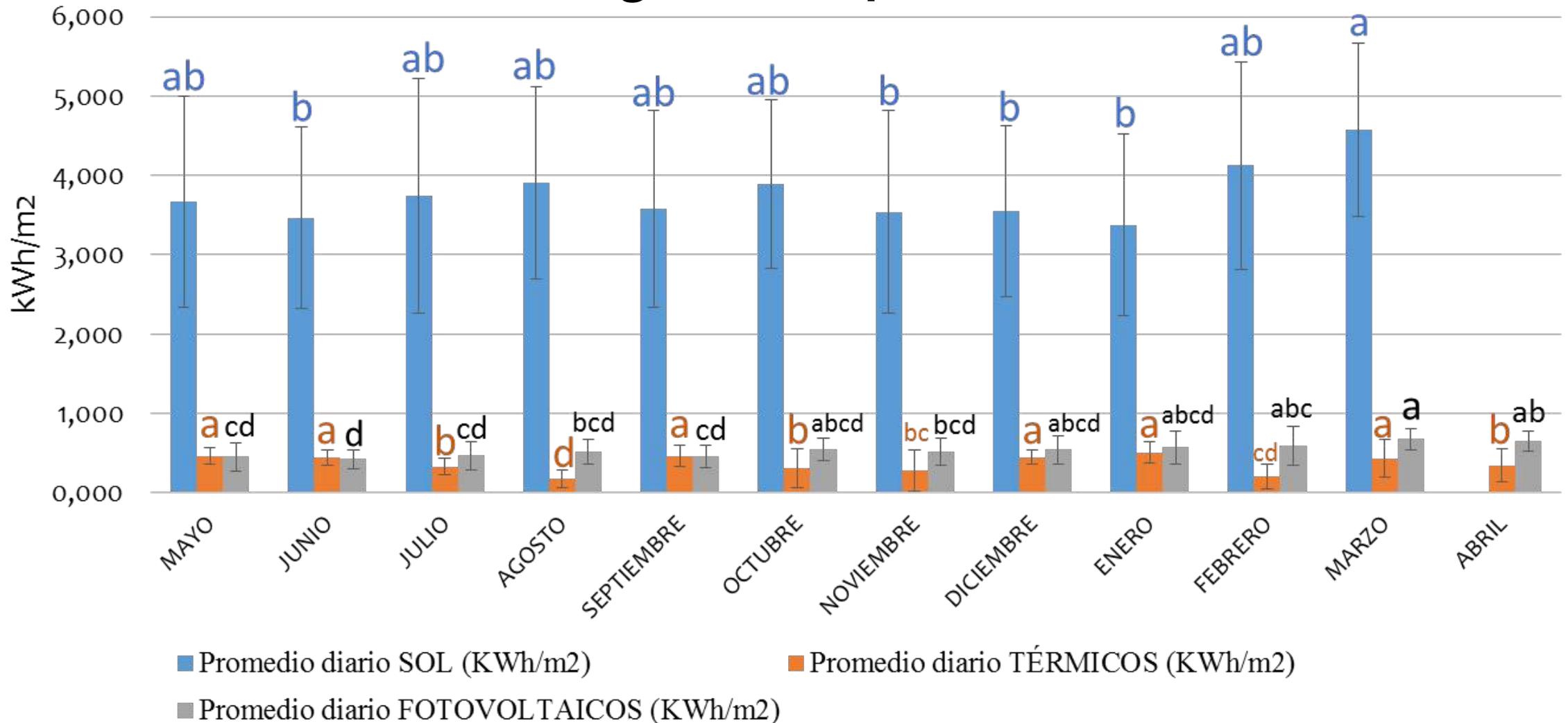


RESULTADOS. Comparativa de sistemas. kWh diarios



RESULTADOS. Comparativa de sistemas (kWh/m²)

kWh generados por m²



Resultados

ESTUDIO AMBIENTAL

RESULTADOS. Kg de CO₂ no emitidos a la atmósfera

Si procediera de la electricidad convencional

Mes	KWh eq. del térmico	Energía en KWh del fotovoltaico	eq. CO ₂ <u>no emitidos</u> por el térmico (Kg)	eq. CO ₂ <u>no emitidos</u> por el fotovoltaico (Kg)
may-15	179,97	179	10,0	10,0
jun-15	163,75	161	9,1	9,0
jul-15	123,82	184	6,9	10,2
ago-15	65,45	201,48	4,4	11,2
sep-15	168,94	173,88	6,4	9,7
oct-15	119,33	188,6	6,6	10,4
nov-15	104,61	197,1	5,8	10,9
dic-15	171,29	212,55	9,5	11,8
ene-16	197,54	223,41	11,0	12,4
feb-16	74,5	212,36	4,2	11,9
mar-16	175,86	261,19	9,8	14,8
abr-16	178,34	216,15	10,0	13,8
MEDIA	139,45	200,89	7,62	12,1
Estimación ANUAL	1673,4	2410,72	101,44	148,28

249,71 Kg de CO₂ en promedio al año



76% hidroeléctrica
12% geotérmica
4% eólica
1% biomasa

93% origen renovable

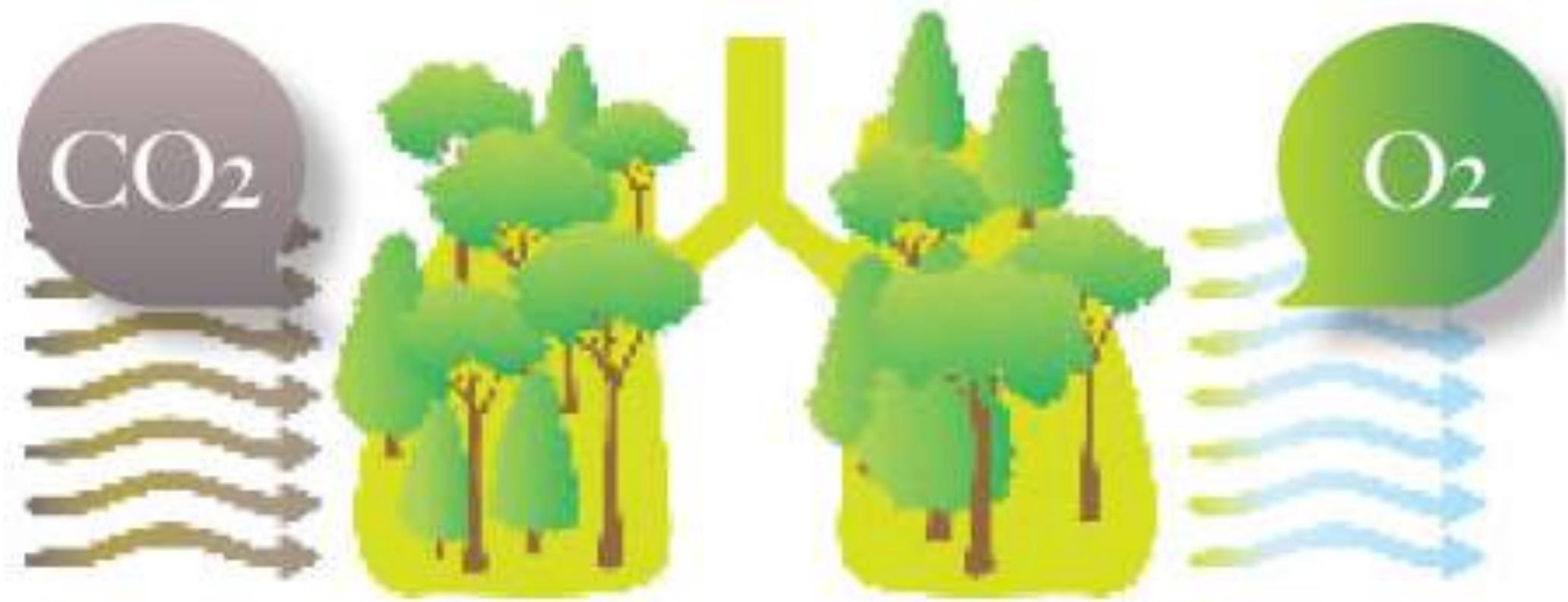
+

7% fósil (centrales térmicas)

**1 kWh de electricidad en Costa Rica =
0,0557064 Kg CO₂**

RESULTADOS. Kg de CO₂ no emitidos a la atmósfera

~250 Kg de CO₂ =



~10 árboles

RESULTADOS. Kg de CO₂ no emitidos a la atmósfera

Si procediera del Gas o Leña



Poder efecto invernadero **4 y 30 veces más:**

1 kWh de Gas LP → 0,234 Kg CO₂

1 Tn por año

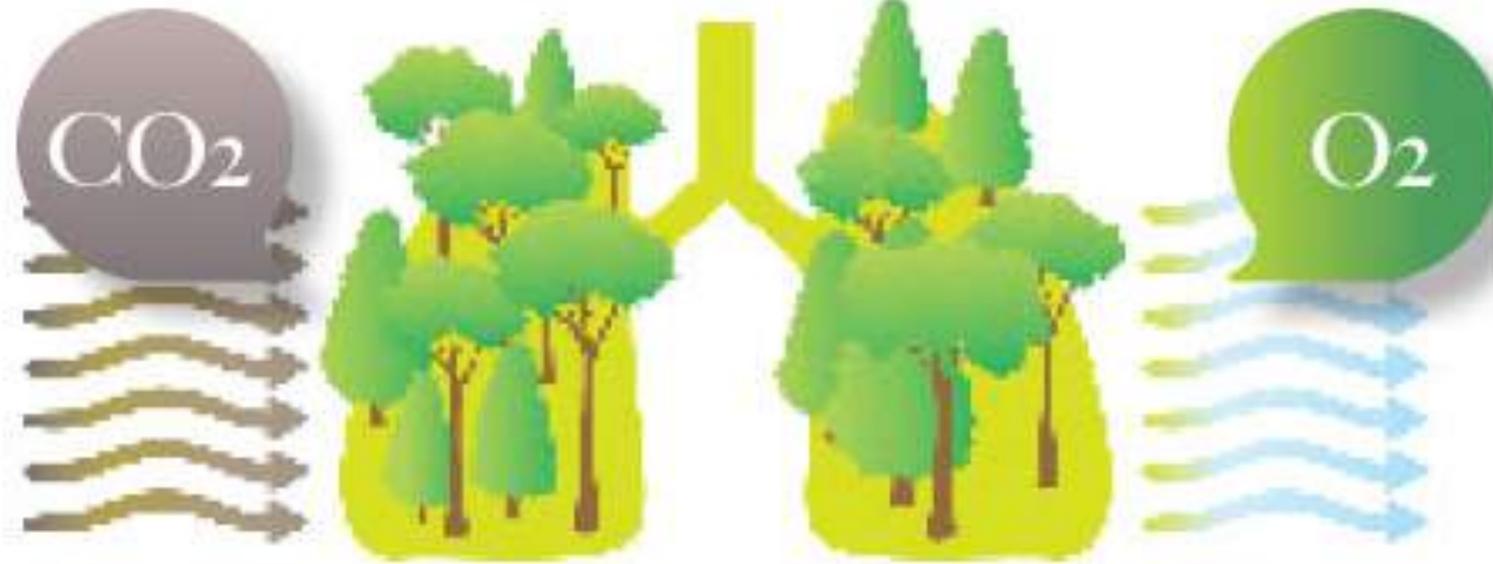
1 Kg de Leña → 1,7 Kg CO₂

5 Tn por año

RESULTADOS. Kg de CO₂ no emitidos a la atmósfera. Caso de San Bosco

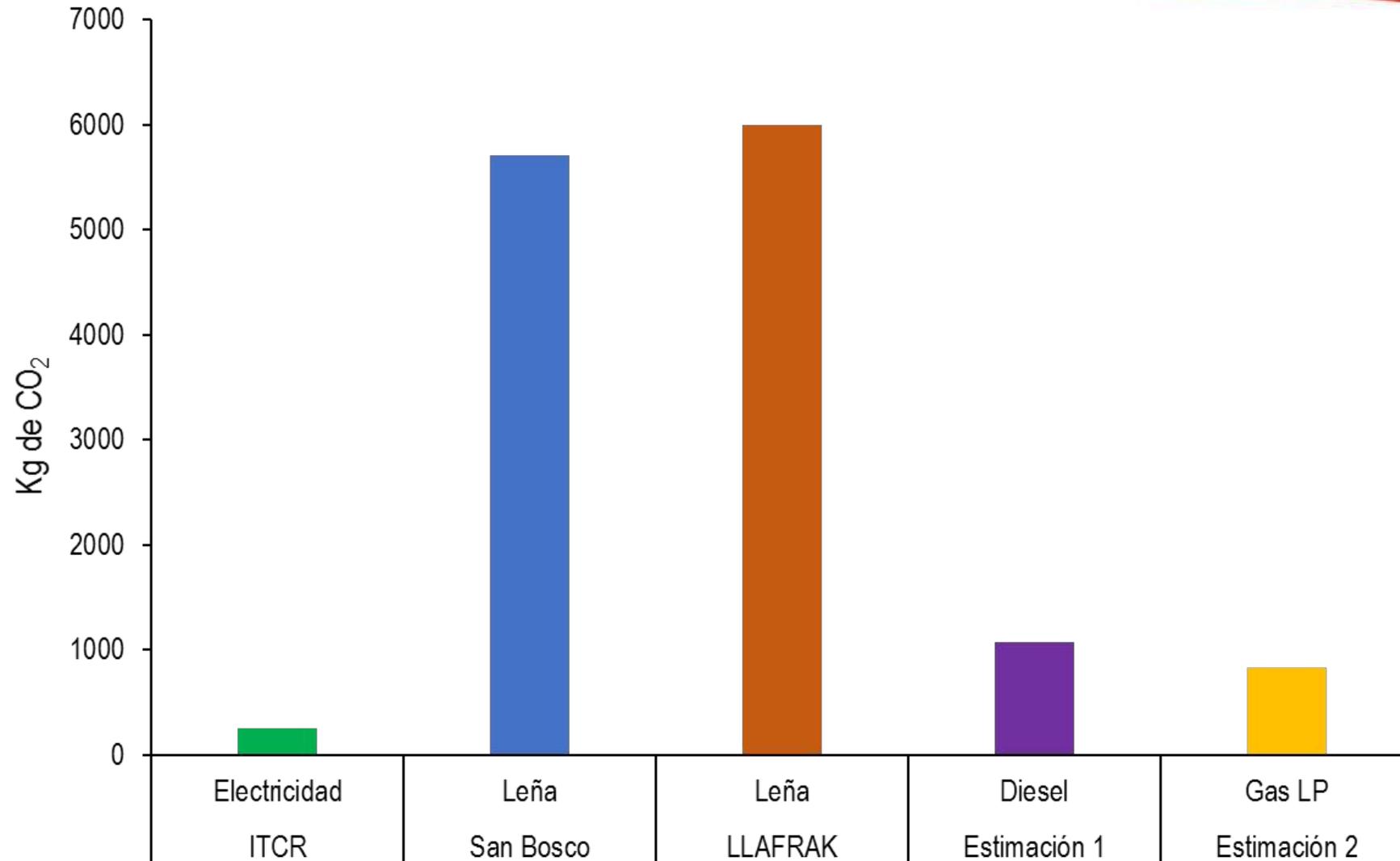


**3 tn de LEÑA anual =
+5 toneladas de CO₂/año =**



~130 árboles

RESULTADOS. Kg de CO₂ no emitidos a la atmósfera.



Resultados

ESTUDIO ECONÓMICO

RESULTADOS. Ahorro económico en Electricidad FOTOVOLTAICOS

Mes	KWh producidos en total	¢/Energía KWh	¢/Potencia (2 KW)	Ahorro mensual (¢)
may-15	178,76	78,74	9.612,66	22593,0
jun-15	161,34	78,74	9.612,66	21286,5
jul-15	183,69	78,97	9.640,92	24076,4
ago-15	201,0	77,98	9.460,98	25442,5
sep-15	173,3	77,98	9.460,98	23257,5
oct-15	187,4	77,71	9.428,58	24439,4
nov-15	196,1	77,71	9.428,58	24755,2
dic-15	211,6	77,71	9.428,58	25963,9
ene-16	222,9	74,01	8.965,2	26746,3
feb-16	214,0	74,01	8.965,2	26059,3
mar-16	265,7	74,01	8.965,2	30072,2
abr-16	248,0	77,05	9.360,87	27319,7
may-16	218,0	924,62	112.330,41	25096,4
			TOTAL AÑO	327.108,38
			\$	588,79



~120 - 130 ¢ / kWh

RESULTADOS. Ahorro económico. TÉRMICOS

Mes	kWh/mes	Precio ahorrado ELECTRICIDAD	L/día equivalentes de Gas LP	Precio ahorrado GAS (¢/día)
may-15	179,97	21.236,46	0,75	179,83
jun-15	163,75	19.322,50	0,70	169,08
jul-15	123,82	14.610,76	0,52	123,72
ago-15	79,05	9.327,90	0,27	65,40
sep-15	115,45	13.623,10	0,73	174,44
oct-15	119,33	14.080,94	0,50	119,23
nov-15	104,61	12.343,98	0,45	108,01
dic-15	171,29	20.212,22	0,71	171,15
ene-16	197,54	23.309,72	0,82	197,39
feb-16	74,5	8.791,00	0,33	79,58
mar-16	175,86	20.751,48	0,73	175,72
abr-16	178,94	21.115,34	0,74	178,34
promedios	136,83	16146,37	0,6	142,1
ANUAL		215285,85 ¢/año	220 L	53201,80 ¢/año
\$/año		387,51		95,76



PRECIOS DEL GLP

Tipos de envase	Precio a facturar por el envasador	Precio a facturar por distribuidor y agencias	Precio a facturar por detallistas
Tanques fijos (por litro)	192,576		
Cilindro de 4,54 kg (10 libras)	1 637,00	2 076,00	2 582,00
Cilindro de 9,07 kg (20 libras)	3 293,00	4 177,00	5 194,00
Cilindro de 11,34 kg (25 libras)	4 121,00	5 228,00	6 500,00
Cilindro de 18,14 kg (40 libras)	6 586,00	8 354,00	10 388,00
Cilindro de 45,36 kg (100 libras)	16 465,00	20 886,00	25 969,00
Estación de servicio (por litro)			241,00

El Gas es más barato, pero
más contaminante

RESULTADOS. Ahorro económico.

TOTAL

	Ahorro (₡)	Gasto en electricidad Lechería ITCR (₡)
FOTOVOLTAICO	327.108,38	1.800.000
TÉRMICO	215.285,85	
TOTAL	542.394,23	

542.394,23 / 1.800.000 = 30,13% de
ahorro de la
factura de luz

RESULTADOS. Ahorro económico.

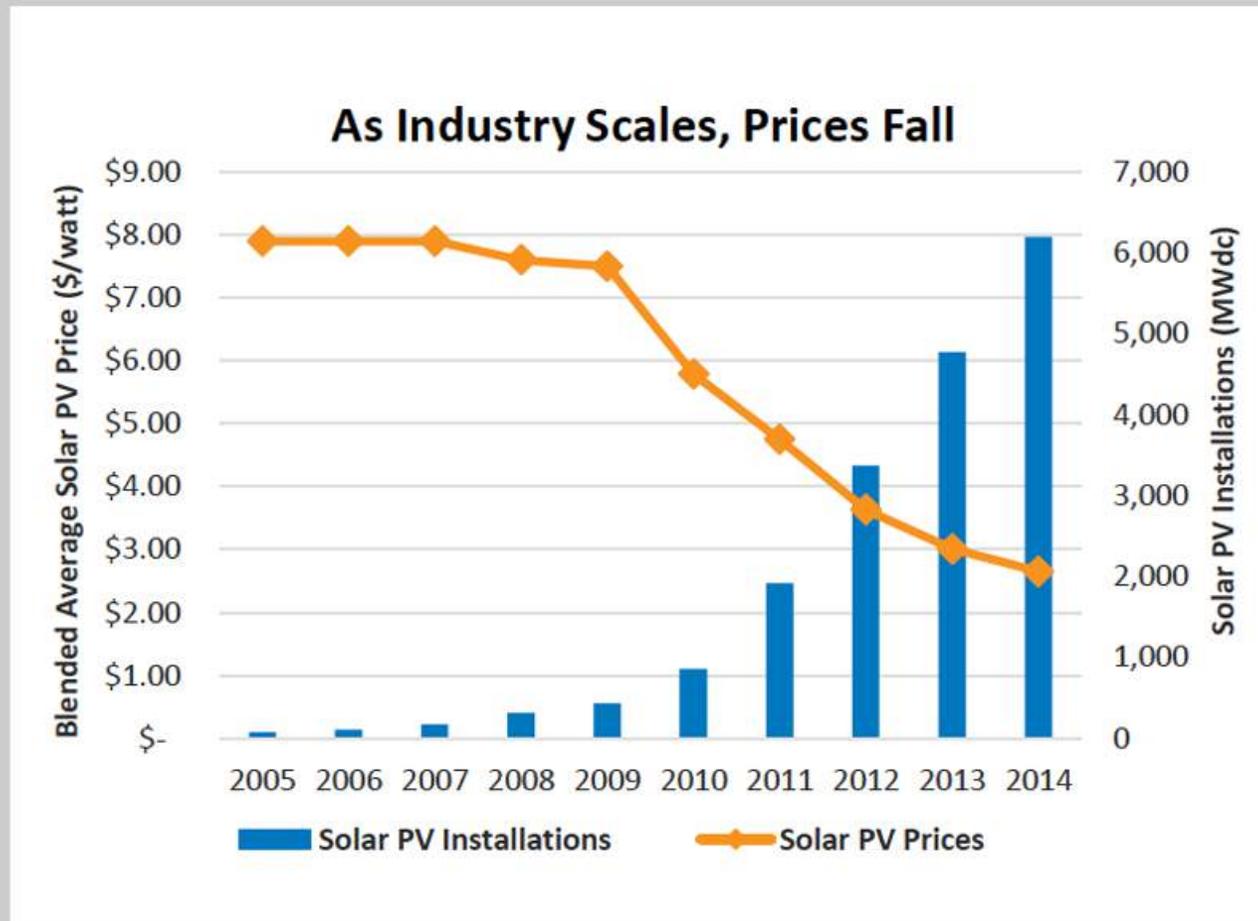
TOTAL

	Ahorro (₡)	Gasto en <u>electricidad</u> Lechería ITCR (₡)
FOTOVOLTAICO	327.108,38	1.800.000
TÉRMICO	215.285,85	
TOTAL	542.394,23	

$$542.394,23 / 1.800.000 = 30,13\% \text{ de ahorro de la factura de luz}$$

Actualmente la amortización se da en unos **7 años**... Pero la vida útil de los sistemas es de **30 años** con **0** gasto de mantenimiento.

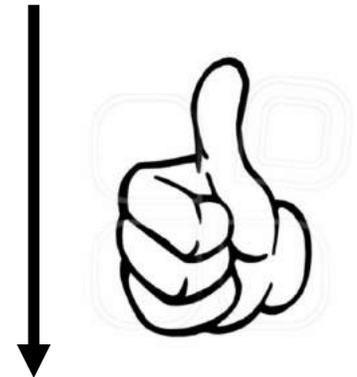
RESULTADOS. Ahorro económico



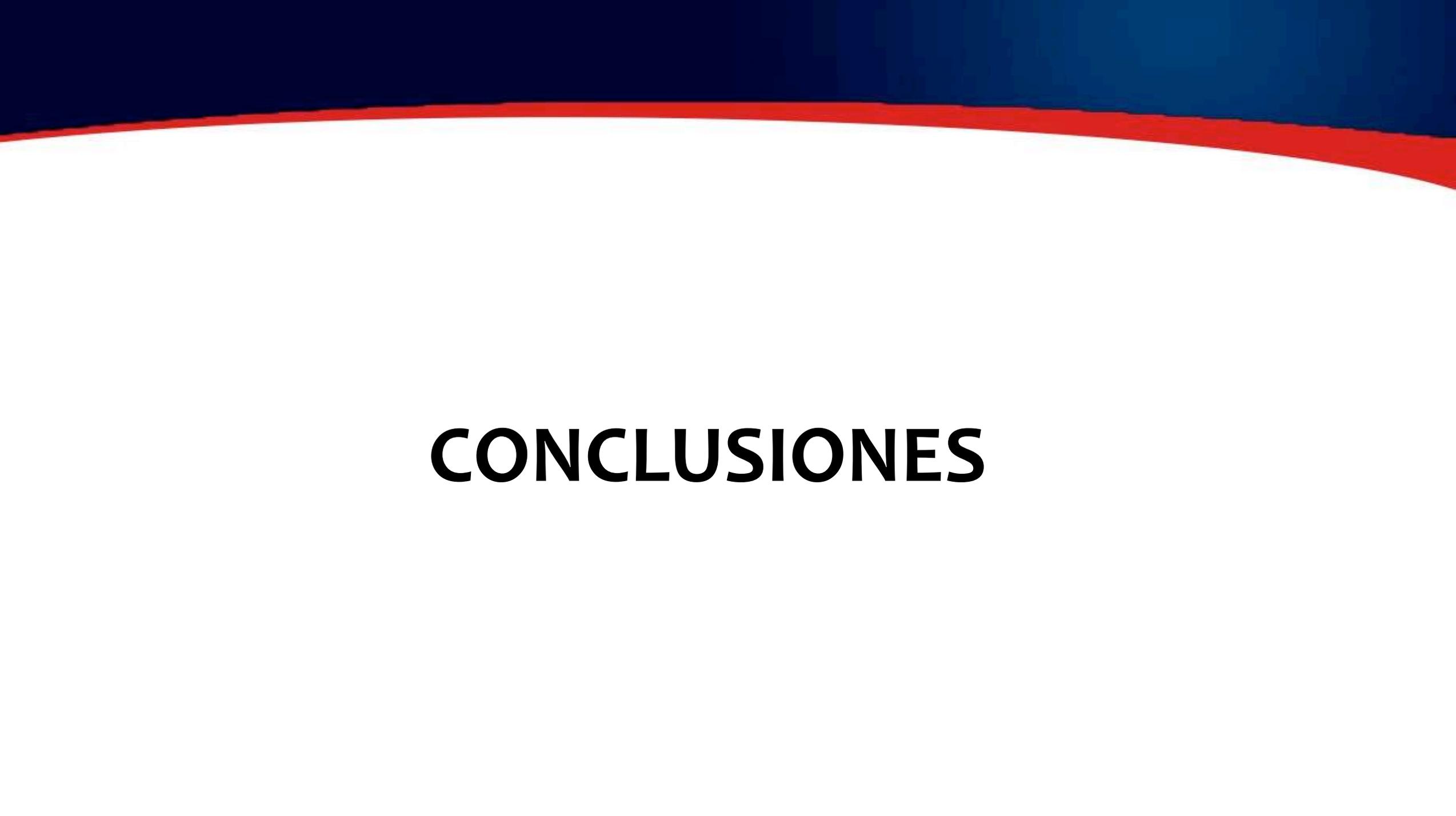
© 2015



La **amortización** de la inversión se recupera cada vez antes: globalmente el precio de los combustibles fósiles suben a la vez que se mejora el desarrollo de los sistemas solares.



Consecuencia: el precio baja



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES. N° 1

1. Los colectores solares térmicos durante el periodo de evaluación lograron en promedio una ganancia diaria de temperatura de $27,8 + 29,6$ °C (hasta unos 60°C).

En el caso de los fotovoltaicos se registró una producción diaria de $5,49 \pm 2,02$ kWh.

CONCLUSIONES. N° 2

2. En un año, los sistemas de captación y generación de energía solar produjeron el equivalente energético de **4.300 kWh**, lo que equivale a **250 Kg CO₂eq.** y un ahorro de **¢542.394** (~ \$1,000) según las tarifas vigentes en COOPELESCA para la electricidad.

CONCLUSIONES. N° 3

3. El ahorro energético que se produce entre los dos sistemas en los meses evaluados es de más del **30%** de kWh consumidos.

4. Actualmente la **amortización se da en 7 años**, lo que resulta manejable teniendo en cuenta que la vida útil de los paneles es de 25-30 años.

CONCLUSIONES. N° 4

4. 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 y la posibilidad de incorporar un sello ecológico a sus productos y un nuevo valor agregado.

MUCHAS GRACIAS

Contactos

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA, SEDE REGIONAL DE SAN CARLOS, COSTA RICA

- Dr. Tomás Guzmán Hernández, tjguzman@itcr.ac.cr
- Dr. Freddy Araya Rodriguez, faraya@itcr.ac.cr
- Dr. Javier Mauricio Obando Ulloa, jaobando@itcr.ac.cr
- Lic. Guillermo Castro Badilla, gucastro@itcr.ac.cr
- M.Sc. Mikel Rivero, mriveromarcos@gmail.com