

**ADOPCIÓN TECNOLÓGICA SUSTENTABLE DE COCINAS SOLARES EN COMUNIDADES INDÍGENAS Y RURALES DE MICHOACÁN****ADOPTION SUSTAINABLE TECHNOLOGY OF SOLAR COOKERS IN INDIGENOUS AND RURAL COMMUNITIES OF MICHOACÁN**

M. González-Avilés\*, L.B., López-Sosa, H. Servín-Campuzano, D. González-Pérez  
*Universidad Intercultural Indígena de Michoacán*

Recibido 18 de Noviembre de 2014; Aceptado 1 de Enero de 2017

**Resumen**

Se presenta un proyecto de adopción de tecnología, inicialmente con el desarrollo de tres prototipos de cocinas solares; de diseño propio, la característica principal es el uso de Concentradores Parabólicos Compuestos (CPC) de revolución. La implementación y monitoreo se llevó a cabo en la comunidad indígena Santa Fe de la Laguna, Municipio de Quiroga, del Estado de Michoacán, México. Se realizaron pruebas de cocción solar a los prototipos, para seleccionar el de mejores características térmicas y ergonómicas. Previo a la implementación se realizó un diagnóstico del recurso maderable, talleres de capacitación, un manual de uso, mantenimiento y construcción de cocinas solares en lengua indígena (purépecha) y español. La implementación de la cocina solar pretende reducir hasta un 30% el consumo de madera (leña) utilizado generalmente para la cocción de alimentos, fomentar el uso de fuentes renovables de energías (FRE), mitigar las enfermedades respiratorias a causa de la inhalación de humo por combustión y contribuir al ahorro económico de las familias que usen la cocina. Actualmente se trabaja con el monitoreo, aquí se presentan los primeros resultados de la cuantificación del proceso de consumo-apropiación alcanzado.

*Palabras clave:* rendimiento térmico, concentrador parabólico compuesto de revolución, adopción de tecnología.

**Abstract**

This paper presents a project of technology adoption, initially with the development of three prototypes of solar cookers; of our own design. The main characteristic of these cookers is the use of revolution-type Compound Parabolic Concentrators (CPC). The implementation and monitoring were conducted in an indigenous community Santa Fe de la Laguna, Municipio de Quiroga, of Michoacán, Mexico. Standardized solar cooking tests were carried out with three to select the best thermic and ergonomic properties. Prior to implementation, the team conducted a survey of available forest resources, organized training workshops, and drafted a user's manual for construction and maintenance of the cooker in the indigenous language (Purépecha) and Spanish. The objectives of using this solar cooker are to reduce consumption of firewood, the fuel generally used in food preparation, by up to 30%, promote the use of renewable energy sources (RES), mitigate respiratory diseases caused by inhalation of woodsmoke and contribute to economic savings in the households that. Currently it working with monitoring, here the first results of the quantification of the consumption-appropriation process achieved are presented.

*Keywords:* thermal efficiency, compound parabolic concentrator, technology adoption.

## 1 Introducción

Actualmente, el uso de combustibles convencionales (hidrocarburos), ha sido casi inevitable. En México, de acuerdo al Balance Nacional de Energía (2014), el uso de Fuentes Renovables de Energía (FRE), es muy pequeño del 7.6%, con respecto al del petróleo (63.4%) y del gas natural (23.6%), considerando el gran potencial que

existe para el aprovechamiento de FRE. Por lo cual, resultan indispensables los estudios para el desarrollo de tecnologías que aprovechen las FRE. Existen algunos trabajos relacionados con el uso de lixiviados de composteo para la producción de biocombustibles, demostrando que es una tecnología apropiada para la reducción del impacto ambiental de este efluente y

\* Autor para la correspondencia. E-mail: gamauricio@gmail.com

para la producción de biocombustibles; en la Ciudad de México (Castilla-Hernández y col., 2016). También el caso de producción de metano usando residuos de granjas cunícolas (Teniza-García y col., 2015). Por otra parte, son imprescindibles los estudios para estimar la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), para identificar las fuentes de mayor emisión y proponer las medidas de mitigación correspondientes, los cuales son muy escasos a nivel nacional; tal es el caso del estado de Durango (Martínez-Prado, 2016). El gas licuado de petróleo, es necesario para la cocción de alimentos en zonas urbanas y rurales; en ésta última en menor uso debido a la utilización total o parcial de recursos maderables (leña). El uso de leña, en zonas rurales, empleados para la cocción de alimentos, ha ocasionado algunas consecuencias; por mencionar algunas: enfermedades respiratorias, emisiones de GEI y deforestación de los bosques, aunque esta última se debe, principalmente, a los incendios forestales y la tala clandestina, pero que en conjunto contribuyen con el problema del deterioro ambiental, en muchos casos irreversible. Por ello, se requieren alternativas que reduzcan el uso de combustibles convencionales, que disminuyan las emisiones de GEI, y además que contribuyan al ahorro económico familiar.

Una de las alternativas son las cocinas solares, dispositivos que se han utilizado desde hace años, para lograr la cocción de alimentos con ayuda de la energía del sol; son termo-conversores, es decir, dispositivos que transforman la radiación del sol en poder calorífico suficiente para lograr la cocción de alimentos.

Existen múltiples diseños de cocinas solares en el mundo, pero aún queda mucho por investigar. Tal es el caso de las aplicaciones del CPC de revolución en tres dimensiones, considerado en el presente trabajo, como base para el diseño de las cocinas solares.

Un CPC es un colector que concentra la energía solar de manera eficiente, que ha sido usado desde hace varios años, y representa una aplicación de la óptica anidólica (Winston y col., 2005). La óptica anidólica ofrece al usuario las siguientes ventajas:

- No emite destellos luminosos que puedan dañar la vista.
- Buen desempeño en tiempo de lluvias, porque aprovechan la radiación difusa.

- No requieren de un tiempo excesivo para la cocción de alimentos.

Se ha establecido de manera experimental que, en cuanto al colector solar, el CPC de revolución en tres dimensiones, muestra un mayor rendimiento óptico y térmico que el CPC en dos dimensiones, usado como canal parabólico compuesto (Senthilkumar y col., 2009). Lo cual justifica, en inicio, la construcción de cocinas solares con características CPC de revolución.

Las cocinas solares que se han desarrollado constan de tres partes: un concentrador, un recipiente absorbedor (olla a presión) y un soporte. Se han construido y estudiado tres prototipos de cocinas solares, denominadas: Cocina Solar 1 (CS-1), Cocina Solar “Jorhejpatarnskua” (CSJ) y Cocina Solar Rural (CSR) (González-Avilés y col., 2013). La descripción detallada de cada una de las cocinas, se proporciona en la siguiente sección.

El objetivo de la implementación de las cocinas solares es que sea una alternativa complementaria, para satisfacer las necesidades de cocción de alimentos básicos, y puede contribuir favorablemente en la problemática del deterioro ambiental.

En tanto que el objetivo del escrito es presentar el desarrollo del proyecto completo, hasta el momento, si bien se ha presentado de manera parcial en (González-Avilés y col., 2013); aquí se incluyen los resultados del inicio del monitoreo, en cuanto al uso y apropiación de la cocina solar; el ahorro en el consumo del recurso maderable; así como, las estimaciones corregidas de la potencia de cocción estándar y el rendimiento térmico de las cocinas solares consideradas.

## 2 Metodología

### 2.1 Construcción de cocinas solares usando CPC de revolución

La construcción de cocinas solares con características CPC de revolución, ha tomado como base, curvas similares a las usadas por Rincón-Mejía (2008), en el horno solar Tolokatsin, donde desarrollan el diseño en uno de los ejes formando un canal, ahora para desarrollar los diseños de las cocinas, se ha considerado la rotación del perfil con respecto a uno de sus ejes de simetría (Figura 1).

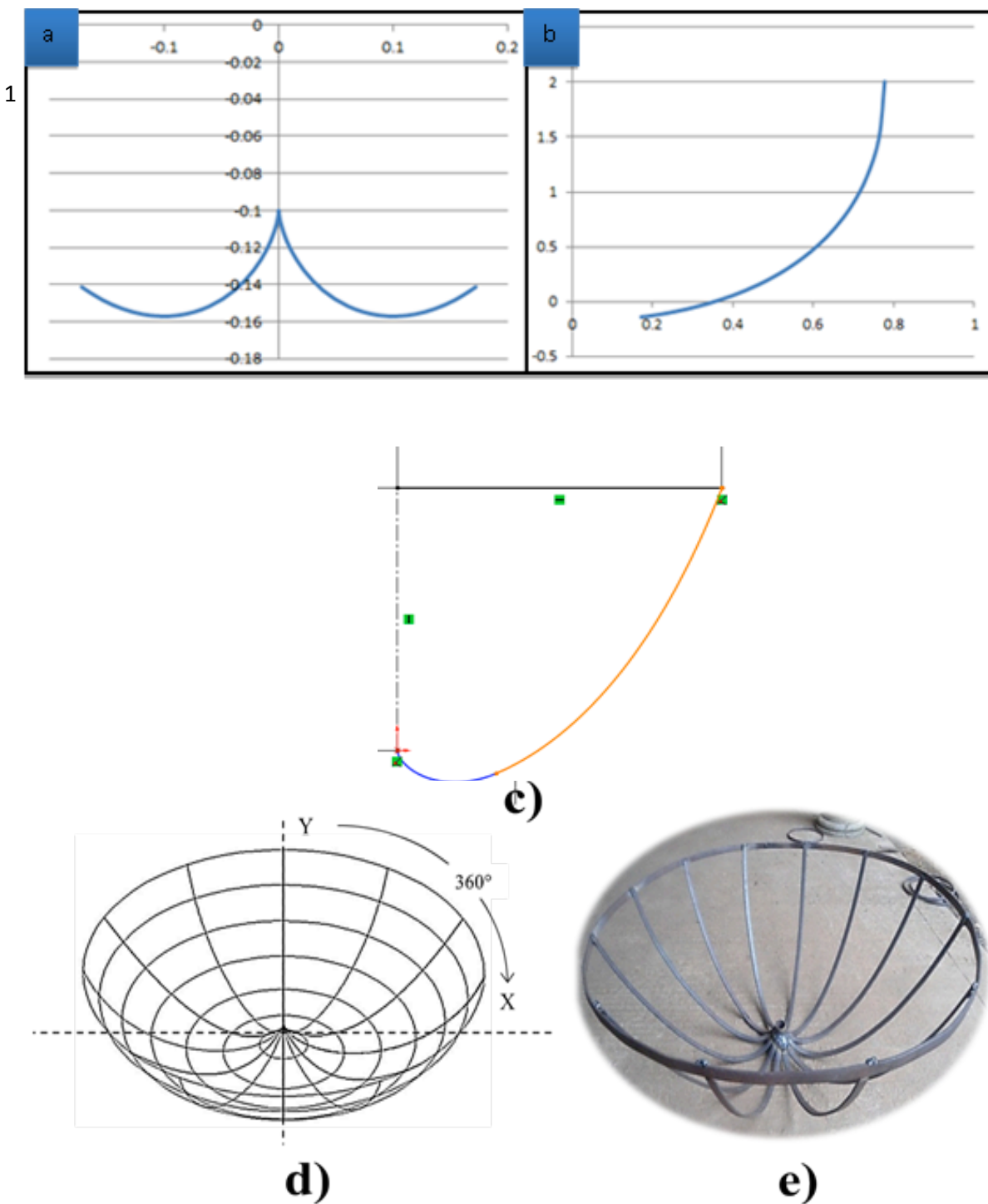


Fig. 1. Diseño del perfil del colector solar: a) Involuta. b) Segmento de parábola. c) Concentrador Parabólico Compuesto (CPC) con extensión de área de captación. d) Diseño estructural del CPC de revolución. e) Estructura de acero al carbón del CPC de revolución.

Con la rotación, se obtiene una superficie de revolución que es muy diferente a un paraboloide de revolución (Figura 1-d). El diseño del colector propuesto se compone de dos formas geométricas (involuta y dos secciones de parábolas), las cuales son descritas a continuación:

Para la involuta, se utiliza una geometría del tipo curvas envolventes (Figura 1-a), esta manifestación de la óptica geométrica aplicada a la concentración solar, define una curvatura que comienza a cerrarse conforme la altura en el eje “y” y la distancia cada vez mayor en el eje “x”. Las ecuaciones 1 y 2 corresponden a las coordenadas polares de la involuta en el plano (x,y) para graficar geometría señalada:

$$x = r(\sin\varphi - \varphi \cos\varphi) \quad (1)$$

$$y = -r(\varphi \sin\varphi + \cos\varphi) \quad (2)$$

En la Figura 1-a, se grafica la involuta con las coordenadas polares, para conocer las dimensiones de truncamiento es necesario definir el valor del factor de concentración (c); este factor se obtiene del cociente entre el área del colector y el área del recipiente absorbedor  $c = A_{col}/A_{abs} = 1/\sin^2\theta_{m\acute{a}x}$ . Este a la vez debe tomar en cuenta el ángulo de aceptación que está relacionado directamente con  $\varphi$  de la siguiente forma  $0 \leq \varphi \leq \pi/2 + \theta_{m\acute{a}x}$  (Rabl, 1976) y (Rabl, 1993).

Por otra parte, para aumentar la apertura de la curva (área de recolección solar), así como evitar el cierre de la involuta (a partir de la intersección con el eje x? donde inicia el cierre de la curva), se da continuidad a esta gráfica con segmentos de una curva parabólica. En la Figura 1-b, se grafican las siguientes ecuaciones paramétricas que permiten el trazado de los segmentos de la curva adicional parábolas (Tapia y col., 2009):

$$x = r(\sin\varphi - A\cos\varphi) \quad (3)$$

$$y = -r(A\sin\varphi + \cos\varphi) \quad (4)$$

donde  $A = \frac{\pi/2 + \theta_{m\acute{a}x} + \varphi - \cos(\varphi - \theta_{m\acute{a}x})}{1 + \sin(\varphi - \theta_{m\acute{a}x})}$ .

La curva adicional permiten generar un Concentrador Parabólico Compuesto (Figura 1-c) que ha sido utilizado para el desarrollo de sistemas de cocción solar de pequeñas dimensiones (Servín y col., 2014) y (Servín y col., 2015).

Los componentes de los prototipos se elaboraron con diferentes materiales. En la historia del desarrollo de estas cocinas el primer CPC de revolución (o colector), se usó papel aluminio y una estructura de cartón. Otros CPC's se elaboraron con papel de regalo, hasta llegar a construir CPC's de revolución

con lámina de acero inoxidable y lámina de aluminio anodizado, con estructura de solera y un sistema de seguimiento solar. Otro componente que se fue modificando es el soporte que facilita el traslado de la estufa solar.

## 2.2 Metodología de prueba para evaluar cocinas solares

Para evaluar cocinas solares, desde el punto de vista térmico, se aplican de la normas ASAE S580 (American Society of Agricultural Engineers [ASAE], 2003). Los criterios más importantes del protocolo son:

- Medición y registro de la temperatura promedio del agua dentro de una olla, de la temperatura ambiente y de irradiancia directa en intervalos de 5 minutos.
- En condiciones de viento fuerte (mayor a 2 m/s) durante más de 5 minutos, alta variación de la insolación (+100 W/m<sup>2</sup>), baja variación de insolación (-100 W/m<sup>2</sup>) o baja temperatura ambiente (menor a 20 °C) las pruebas se invalidan.

La principal figura de mérito utilizado por ASAE S580 es la potencia de cocción estándar. El cálculo para su obtención se hace multiplicando la diferencia de temperatura  $\Delta T = T_{agua} - T_{amb}$ , en los 5 minutos, por la masa de agua contenida (m) en la olla, por el calor específico del agua ( $c_p = 4.186$  J/(kgK)) dividido entre el tiempo transcurrido  $\Delta\tau = 300$  segundos.

$$P_c = mc_p \frac{dT}{d\tau} \quad (5)$$

donde  $P_c$  = potencia de cocción,  $\frac{dT}{d\tau}$  = derivada de la temperatura respecto al tiempo.

Para obtener la potencia de cocción estándar, la potencia de cocción se normaliza a un valor de 700 W/m<sup>2</sup> a través de la siguiente ecuación.

$$P_s = P_c \left( \frac{700(W/m^2)}{I} \right) \quad (6)$$

donde:  $I$  = irradiancia promedio en el intervalo de tiempo (W/m<sup>2</sup>),  $P_c$  = potencia de cocción (W),  $P_s$  = potencia de cocción estándar (W).

Los resultados se muestran al graficar  $P_s$  como función de la diferencia de la temperatura del agua y del ambiente  $\Delta T = T_{agua} - T_{amb}$ , y se aplica la técnica de regresión lineal. La prueba es válida si el coeficiente de correlación es mayor de 0.7.

Para el cálculo de la derivada se han usado fórmulas numéricas de tres puntos (ver por ejemplo Burden & Faires 2009);

En el punto inicial:

$$\frac{dT}{d\tau} \approx \frac{-3T_i + 4T_{i+1} - T_{i+2}}{2\Delta\tau} \quad (7)$$

En los puntos centrales:

$$\frac{dT}{d\tau} \approx \frac{T_{i+1} - T_{i-1}}{2\Delta\tau} \quad (8)$$

En el punto final:

$$\frac{dT}{d\tau} \approx \frac{T_{i-2} - 4T_{i-1} + 3T_i}{2\Delta\tau} \quad (9)$$

Se han usado estas expresiones porque aproximan mejor a la derivada que aparece en la ecuación (6), que la usada comúnmente en este tipo de pruebas:

$$\frac{dT}{d\tau} \approx \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta\tau} \quad (10)$$

Para estandarizar procedimientos, se establece que se debe reportar la potencia de cocción estándar, que corresponde a una diferencia de temperatura de  $\Delta T = 50^\circ\text{C}$ .

El cálculo del rendimiento se calculó usando la expresión (Kundapur & Sudhir, 2009):

$$\eta = \frac{mc_p(T_{w2} - T_{w1})}{A \int I d\tau} \quad (11)$$

### 2.2.1. Instrumentación

Para realizar los análisis térmicos, de acuerdo a los protocolos antes mencionados, se ha usado la instrumentación, que se menciona a continuación (ver figura 2):

- Un piranómetro.
- Un termómetro tipo K.
- 4 termopares tipo K.
- Una estación meteorológica inalámbrica “Vantage Pro2” con su consola.
- 1 vaso de precipitado de 500 mililitros.
- Un cronómetro digital.

### 2.3 Caracterización de prototipos de cocinas solares

La CS-1, ver Figura 3, está construida con un colector de lámina de acero inoxidable con acabado espejo y un recipiente de cocción de aluminio con capacidad de 2 litros. Este dispositivo cuenta con una potencia de cocción estándar de 21 vatios, con prueba válida bajo la norma ASAE S580 y coeficiente de correlación obtenido en pruebas de estandarización de  $R^2 = 0.849$ , además cuenta con un rendimiento térmico del 15 % (Figura 4). Adicionalmente se utilizó una base de tres postes, para sostener el colector, con área de captación de 0.47 metros cuadrados y su costo aproximado es de 500 pesos mexicanos.

Similar a la CS-1, la CSJ cuenta un colector de lámina de acero inoxidable con acabado espejo, con área de captación de 0.73 metros cuadrados. Su base incluye un dispositivo de inclinación y seguimiento solar manual. El recipiente de cocción es una olla de aluminio de presión color negro mate con capacidad de 5 litros. Tiene una potencia de cocción estándar, bajo norma ASAE S580, de aproximadamente 103 vatios con coeficiente de correlación válido de  $R^2 = 0.738$  y un rendimiento térmico del 24 % (Figura 4); y un costo aproximado de 1.200 pesos mexicanos.



Fig. 2. Instrumentación usada para la aplicación de las pruebas estandarizadas.



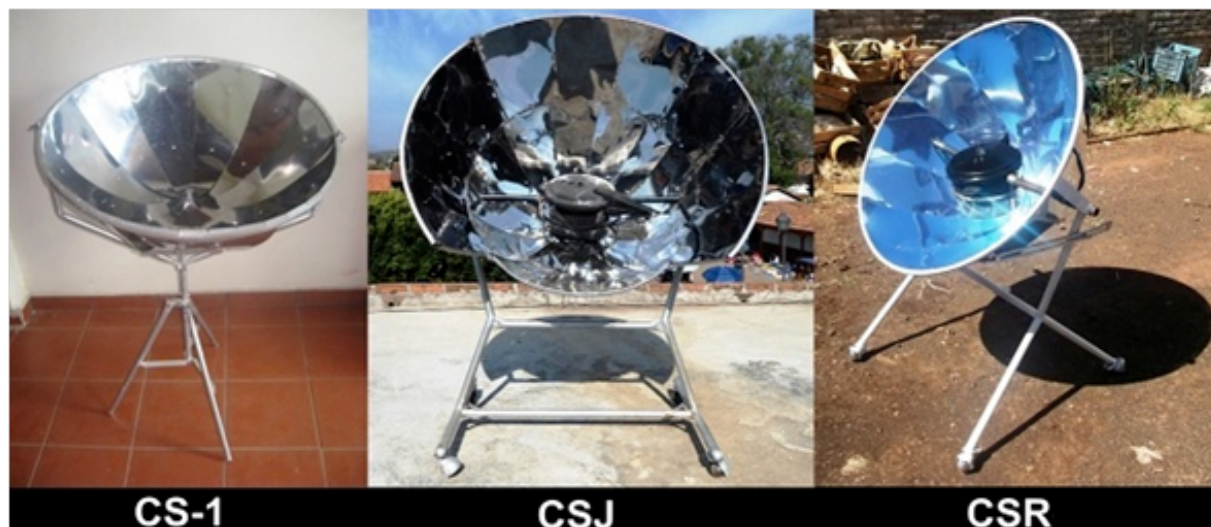


Fig. 3. Cocinas solares que aplican el CPC de revolución.

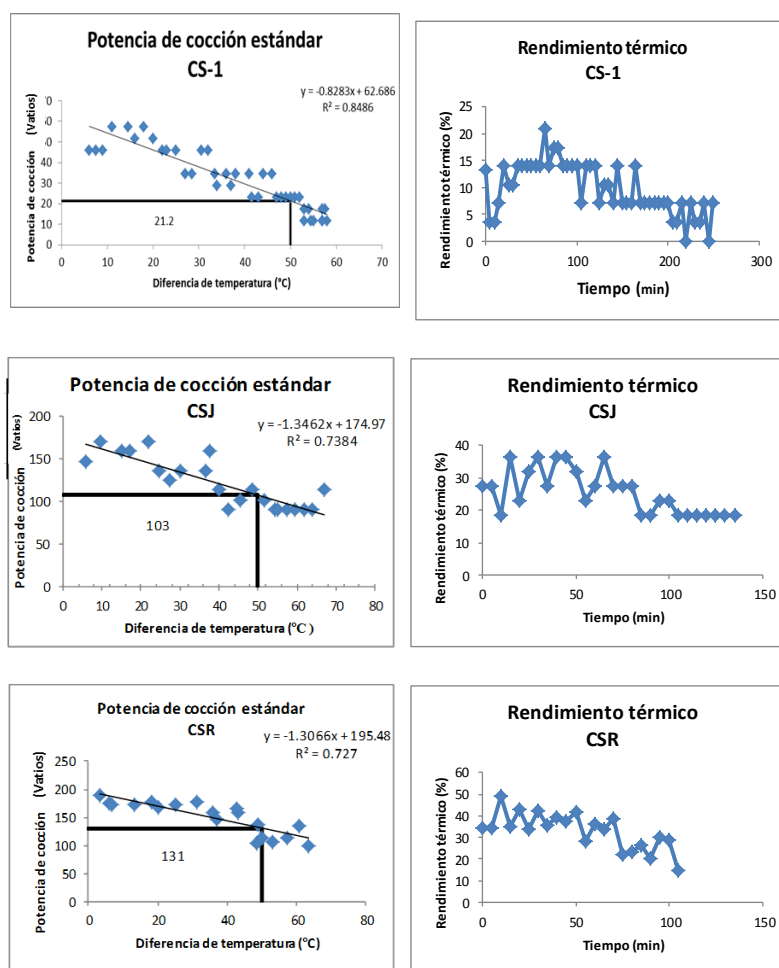


Fig. 4. Potencia de cocción estándar y rendimiento térmico de la CS-1, CSJ y CSR.

La CSR, la seleccionada para la implementación, se construye empleando una base de seguimiento solar como la que se usa para la CSJ, pero se incluye una olla de presión color negro mate con capacidad para 6 litros. Sus reflectores son de lámina anodizada de aluminio con acabado espejo y área de captación de 0.67 metros cuadrados. La potencia de cocción estándar para esta cocina es de 130 vatios, con norma internacional válida y coeficiente de correlación  $R^2 = 0.727$ , así mismo posee un rendimiento térmico de aproximadamente 30 % (Figura 4) y su costo aproximado es de \$ 3 500 pesos mexicanos.

El rendimiento térmico de la CSR resulta ser superior al de las cocinas tipo caja, que por lo general tienen un rendimiento térmico del orden del 20 % o a las de tipo paraboloide cuyo rendimiento térmico se encuentra entre 15 y 18 % (Panwar y col., 2012).

### 3 Implementación del proyecto en comunidades indígenas

#### 3.1 Diagnóstico de uso y extracción de recurso maderable

Se eligió a la comunidad indígena (purépecha) de Santa Fe de la Laguna, municipio de Quiroga, Michoacán-México, como la comunidad receptora del proyecto. Para realizar el diagnóstico se tomó una muestra intencional de aproximadamente el 13 % del total de familias de la comunidad (150). Estas familias fueron elegidas por la misma comunidad, tomando en cuenta sus usos y costumbres y fue organizado por sus autoridades comunales. Una vez que se hizo la notificación a las familias seleccionadas, éstas fueron encuestadas y para obtener el diagnóstico de recursos maderables, que por lo general se enfocó en el uso, consumo, extracción y compra de leña. Del análisis del diagnóstico se seleccionaron a 75 familias beneficiadas, cuyo criterio principal para la selección fue considerar las familias que requieren mayor consumo de leña para la cocción de alimentos.

#### 3.2 Capacitación para el uso, mantenimiento y apropiación de cocinas solares

Para lograr la adopción y apropiación de tecnología, se realizó una capacitación previa a la dotación de las

cocinas solares. Por lo cual, se impartió a los titulares de las familias beneficiadas, de manera bilingüe, (español-purépecha), un taller teórico práctico sobre el uso, mantenimiento y construcción de las cocinas solares. Para la elaboración de las cocinas solares, se capacitó a cinco personas de la comunidad, con la finalidad de fomentar la apropiación, desde la práctica de la construcción de estas tecnologías. Simultáneamente a la capacitación, se elaboró un manual bilingüe, para facilitar el proceso de transferencia y apropiación de estas tecnologías solares térmicas, en la comunidad receptora y, posteriormente, en más lugares del estado de Michoacán.

#### 3.3 Implementación de cocinas solares

Después de haber recibido la capacitación correspondiente, los beneficiarios asistieron a un acto protocolario donde firmaron un convenio de colaboración, comprometiéndose, cada familia beneficiada, a usar la cocina solar y, si no fuera el caso, donarla a otra familia interesada. Con la entrega de cocinas solares (Figura 5), se consolidó la mayor parte del proyecto de implementación. Sin embargo, para complementar el proyecto es necesario continuar con el monitoreo, sobre todo en los aspectos de uso, adopción y apropiación. La implementación se ha realizado en comunidades indígenas purépechas. Por ejemplo, en la comunidad de Nurio (19.65, -102.1333), municipio de Paracho, Michoacán, se realizó la implementación más reciente (en 2016), beneficiando con una cocina solar a 37 familias (López y col., 2016). Donde además de tener como objetivo principal el estudio del proceso de adopción de forma sistemática, se consideran indicadores objetivos como los usados en el proceso de adopción de estufas ahorradoras de leña (Ruiz-Mercado y col., 2011)



Fig. 5. Entrega de cocinas solares, en Santa Fe de la Laguna, Michoacán, México.

## 4 Resultados y discusión

Uno de los principales retos de la investigación científica es lograr aplicarla a la sociedad, en la búsqueda de generar beneficios y alcances significativos en cuestión de ciencia, tecnología, adopción y apropiación. Por lo anterior, los objetivos planteados en este trabajo, son consistentes con el “pensar global, actual local”. El proyecto de implementación, consideró los siguientes puntos: selección de la comunidad receptora del proyecto, diagnóstico del uso y extracción de recursos maderables, capacitación bilingüe sobre el uso, mantenimiento y construcción de cocinas solares, monitoreo inicial de uso y apropiación de cocinas solares.

Los resultados de la evaluación de extracción y consumo de recursos maderables, mostraron que el consumo anual promedio por familia, es de 6.9 toneladas. La mayoría de las familias encuestadas (62 %), realizan extracción del recurso maderable una vez por semana, y únicamente el 1 % de ellas recoge leña con mayor frecuencia (5 veces por semana), pero aun así en promedio, se realizan 5 extracciones de recurso maderable al mes (González-Avilés y col., 2013). Existen periodos Cuando no se puede extraer leña por diversas razones, por ejemplo en la temporada de lluvia, o en actividades que se relacionan con compromisos familiares, u otros factores. Los pobladores se ven obligados a comprar la leña, que tiene un costo promedio de 100 pesos semanalmente; lo cual, representa un gasto elevado, tratándose de familias que perciben un salario del orden de 600 pesos por semana.

Del análisis al diagnóstico se obtuvo la evaluación de uso para combustión del recurso maderable, el resultado fue que la actividad que representa mayor consumo, es la elaboración de tortillas y el resto se consume de maneras diversas; en actividades como preparación de sopas, atoles, cocción de verduras, cocción de tamales, para hervir leche, cocer carne, cocer huevo, cocer frijoles y calentar agua. Ahora bien, el uso de diferentes especies de árboles empleados para la combustión, de manera descendente, las especies más amenazadas son: *Quercus* spp y *Pinus* spp, mientras que *Arbutus unedo* y *Cistus ladanifer*, representan las especies con menor explotación (González-Avilés y col., 2013).

El monitoreo para evaluar el uso y apropiación, arrojó que el 85 % de las familias beneficiarias ha utilizado la cocina solar, mientras que solo el 15 % no las ha utilizado, por diversas causas, entre las que

destacan: cambio de domicilio y separación familiar. El 85 % de los usuarios, manifestaron que usan la cocina solar con mayor frecuencia en los meses de abril y mayo, es decir, primavera en México.

Los datos también mostraron que el uso para la cocción de alimentos es variado, desde la cocción de verduras, chiles, tomates, pollo, hasta calentamiento de agua. Por otra parte, los beneficiarios expresaron interés en recibir una segunda capacitación sobre cocinas solares, con la finalidad de optimizar su uso, así como el interés de tener un tabulador de cocción solar. Dentro de las mejoras sugeridas por los usuarios, pusieron de manifiesto que también optarían por utilizar cocinas solares para freír alimentos y calentar tortillas si fuese el caso, comentario debido a que la cocina solar otorgada, sólo está diseñada para la cocción de alimentos. De otros resultados que resaltaron en el monitoreo, es que utilizan la cocina solar más de dos veces por semana.

El ahorro en consumo de leña es un dato importante, si bien cada familia consumía aproximadamente 145 kg/semana de recurso maderable, empleado para combustión, muchos hogares han tenido un ahorro hasta del 50 % con el uso de la cocina solar.

Por lo anterior, la extracción de recurso maderable es menos frecuente y con menor intensidad. Además, el tiempo utilizado en la cocción de alimentos es menor, y se destina tiempo a otras actividades. Algunos beneficiarios, mencionaron que, para futuras implementaciones, se considerará: elevar el rendimiento de la cocina solar, con la finalidad de reducir el tiempo de cocción de los alimentos y así poder cocinar más de una vez al día; y además que el dispositivo cuente con al menos tres recipientes, para cocinar más de un alimento a la vez.

## Conclusiones

- Las cocinas solares representan una buena alternativa para generar beneficios en comunidades rurales. Falta investigación por realizar, con la finalidad de acelerar e incentivar la transferencia, adopción y apropiación de nuevas tecnologías en zonas indígenas. Sin embargo, la disposición de la población por insertar nuevas tecnologías a su forma de vida cotidiana, es positiva.
- Se ha implementado la cocina solar denominada CSR, debido a que muestra la mayor potencia de cocción estándar y mejor rendimiento



térmico, con respecto a los otros dos modelos considerados; y además, también supera a las de tipo caja y paraboloide, que son de las más usadas y difundidas a nivel mundial.

- El ahorro de recurso maderable que representa a nivel local el uso de cocinas solares es de aproximadamente un 30 %, por ende, bastante benéfico para el cuidado del medio ambiente. Asimismo, los beneficios económicos y de salud pública, son prueba de que el uso de fuentes alternas de energías generan proyectos sustentables en beneficio de los que menos tienen, e incentivan formas de buen vivir en las zonas rurales e indígenas.
- La adopción tecnológica va creciendo día con día, y generar medios audiovisuales la incentivarán en la medida que aspectos como: la lengua materna, vinculación comunitaria y diagnósticos participativos se realicen con mayor frecuencia, en proyectos de implementación de tecnologías con FRE.

## Nomenclatura

BET	Brunauer-Emmett-Teller
b	constant related to the affinity of the binding sites
A	área del colector
c	factor de concentración, adimensional
$\theta_{\max}$	ángulo de aceptación, rad
R	radio del absorbedor, m
m	masa de agua, kg
$T_{\text{agua}}$	temperatura promedio del agua, °C
$T_{\text{amb}}$	temperatura ambiente, °C
$c_p$	calor específico del agua a presión constante, J/kg°C
$P_c$	potencia de cocción, W
$P_s$	potencia de cocción estándar, W
$T_i$	temperatura en el i-ésimo punto, °C
I	irradiancia solar incidente, W/m <sup>2</sup>
<i>Símbolos griegos</i>	
$\Delta T$	diferencia de temperatura, °C
$\tau$	tiempo, seg
$\eta$	rendimiento térmico, adimensional

## Agradecimientos

Agradecemos el apoyo del Programa de Conservación Comunitaria de la Biodiversidad (COINBIO), al Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP), al proyecto Ciencia Básica CONACyT

166126 y a la Universidad Intercultural Indígena De Michoacán (UIIM).

## Referencias

- ASAE, S580. (2003). Testing and Reporting Solar Cooker Performance: *American Society of Agricultural Engineers*, ASAES 580 JAN03, 824-826.
- Castilla-Hernández, P., Cárdenas-Medina, K., Hernández-Fydrych, V., Fajardo-Ortiz, C., & Meraz-Rodríguez, M. (2016). Compost leachates treatment in a two-phase acidogenic-methanogenic system for biofuels production. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 15, 175-183.
- González-Avilés, M., López Sosa, L.B., Servín-Campuzano, H. & González Pérez, D. (2013). Desarrollo, implementación y apropiación de cocinas solares para el medio rural de Michoacán: una alternativa energética para la conservación de recursos forestales maderables. *Revista Energías Renovables de la ANES* 17, 12-15.
- López Sosa, L.B., González-Avilés, M., Servín-Campuzano (2016). Ecotécnicas y tecnologías solares térmicas. *Revista Energías Renovables de la ANES No. 19*, 30-33.
- Martínez-Prado, M. A. (2016). Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero para el estado de Durango, México. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 15, 575-601.
- Kundapur C. & Sudhir V. (2009). Proposal for new world standard for testing solar cooker. *Journal of Engineering Science and Technology* 4.
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2012). State of the art of solar cooking: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 3776-3785.
- Rabl, A. (1976). Comparison of solar concentrators. *Solar Energy* 18, 93-111.
- Rabl, A. (1993). Optical and thermal properties of compound parabolic concentrators. *SPIE Milestone Series* 54, 229-243.
- Rincón-Mejía, E. A. (2008). Cocinas solares, a la vanguardia en México. *Revista Solar, Consejo XIV* 27, 2-10.

- Ruiz-Mercado, I., Masera, O., Zamora, H., & Smith, K. R. (2011). Adoption and sustained use of improved cookstoves. *Energy Policy* 39, 7557-7566.
- Secretaría de Energía. (2014). *Balance Nacional de Energía en México*.
- Senthilkumar, S., Perumal, K. & Srinivasan. P.S. (2009). Optical and thermal performance of a three-dimensional compound parabolic concentrator for spherical absorber. *Sadhana* 34, 369-380.
- Servín, H & González-Avilés, M. (2014). Development of the solar cooker jorhejpatarnskua: thermal standard analysis of solar cooker with several absorber pots. *Energy Procedia* 57, 1593-1602.
- Servín, H, González-Avilés, M. & Morales-Máximo, M. (2015). Desarrollo de una estufa solar para varios contenedores. *Memorias en extenso del Congreso Internacional de Energía 2015 (CIE 2015) 1*, 297-301.
- Tapia, S., and J. A. Del Rio. (2009). Concentrador parabólico compuesto: una descripción opto-geométrica. *Revista Mexicana de Física E* 55, 141-153.
- Teniza-García, O., Solis-Oba, M. M., Pérez-López, M. E., González-Prieto, J. M., & Valencia-Vázquez, R. (2015). Producción de metano utilizando residuos cunícolas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 14, 321-334.
- Winston, R., Miñano, J. C., & Benitez, P. G. (2005). *Nonimaging Optics*. Academic Press.