

COCINA MEJORADA CON HORNO E INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA CALENTAR AGUA EN ZONAS RURALES Y ALTOANDINAS

IMPROVED KITCHEN WITH OVEN AND HEAT EXCHANGER TO HEAT WATER IN RURAL ZONES AND ALTOANDINAS

Grovert Quino Villanueva,⁵
Hugo A. Torres Muro⁶

RESUMEN

Se diseñó, construyó y evaluó una cocina mejorada con horno e intercambiador de calor, para cocinar y calentar agua para uso doméstico en zonas rurales y alto andinas de la región Tacna con la finalidad de coadyuvar a la solución de problemas como la combustión deficiente y excesivo consumo de leña, emisión de contaminantes, problemas de salud y la falta de agua caliente para uso doméstico. Se han usado materiales del mercado local y nacional, los equipos de medición y recolección de datos fueron proporcionados por el CERT y para la evaluación se utilizó agua como sustancia de trabajo y leña de la zona como combustible. Se analizó el comportamiento térmico del agua a través del tiempo para determinar la eficiencia del sistema, mediante dos procedimientos experimentales y se elaboraron gráficos para cada caso. Los resultados esperados fueron corroborados a partir de los datos experimentales y las eficiencias superan el 47 % y 50 % respectivamente.

Palabras claves:

cocina mejorada, cámara de combustión, horno, intercambiador de calor.

ABSTRACT

An improved kitchen with oven and heat exchanger was designed, built and evaluated, for cooking and heating water for domestic use in rural and high andean areas of the Tacna region with the purpose of contributing to the solution of problems such as poor and excessive combustion consumption of wood, emission of pollutants, health problems and lack of hot water for domestic use. Materials from the local and national markets have been used, the measuring and data collection equipment was provided by the CERT and for the evaluation water was used as a working substance and firewood from the area as fuel. The thermal behavior of the water through time was analyzed to determine the efficiency of the system, by means of two experimental procedures and graphs were elaborated for each case. The expected results were corroborated from the experimental data and the efficiencies exceed 47% and 50% respectively.

Keywords: improved cooker, combustion chamber, oven, heat exchanger.

⁵ Docente del Centro de Energías Renovables de Tacna (CERT)

Departamento Académico de Física Facultad de Ciencias Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

⁶ Docente del Departamento Académico de Física Facultad de Ciencias – Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

INTRODUCCIÓN

En nuestro país, al igual que en muchos otros del planeta sobre todo en medio rural la gente, aprovecha y utiliza la leña como fuente de energía principal para cocinar sus alimentos, calentar agua (uso doméstico), y calefacción, mucha gente recorre largos caminos pasando una gran parte del día ocupándose de recolectarla, además tienen que cortarla, cargarla, secarla y prepararla para que sea útil en la cocina, constituyendo así la leña como el combustible más usado y el recurso más importante para estas poblaciones, lo que particularmente se debe al hecho de disponer de muchas zonas forestales privilegiadas (Braunschweig, 1985).

Pero además de ser una necesidad es un problema, debido a que el método que utilizan para cocinar es tradicional e ineficiente, es decir, que la leña, en la gran mayoría se quema en fogones abiertos, y muy rara vez tienen una chimenea, debido a que su construcción carece de tecnología apropiada, este método genera una serie de desventajas como: baja eficiencia entre el 5% al 17% (Dutt, et al., 1987); excesivo consumo de leña, emisión de gases contaminantes intramuros, problemas de salud, y sus consecuencias globales (Arias y Cervantes, 1994). Por otro lado está también el problema de la crisis global de la leña, ya que los bosques del mundo están desapareciendo rápidamente debido al crecimiento de la población. En nuestro país este problema no ha sido solucionado, debido a la falta de interés de las instituciones gubernamentales y privadas porque sus consecuencias no han sido estudiadas con seriedad. (Olvéa, 2005 y Quino, 2005).

El objetivo de este trabajo es coadyuvar a solucionar el problema de la cocción de alimentos y el calentamiento de agua para uso doméstico en las zonas rurales y altoandinas de la región Tacna, construyendo y evaluando una cocina mejorada que nos permita además de cocinar y hornear, también calentar agua, aprovechando el calor residual que comúnmente se pierde por la chimenea de las cocinas mejoradas convencionales. De

esta manera se puede incrementar la eficiencia del sistema y a la vez disminuirá la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y la presión sobre los bosques, contribuyendo con ello a mejorar las condiciones de vida de las poblaciones rurales (Puentes y Maser, 1999).

Cocina mejorada

Dispositivos que permiten cocinar con leña de un modo sumamente óptimo, permitiendo de un lado, un ahorro significativo de leña, y ofreciendo a la vez una serie de ventajas operativas muy valoradas por los usuarios.

Ventajas

- Buen grado de eficiencia (entre el 30% al 70%), combustión completa (ambiental y ecológicamente positiva).
- Disminución de problemas de salud en mujeres y niños; el calor llega con menor incidencia al sistema reproductor y previene accidentes en los niños.
- Disminución considerable y efectiva de molestias al nivel del aparato respiratorio y visual.

Desventajas

- No existe cultura de adopción y adaptación de este tipo de cocina.
- Algunas veces no se puede conseguir materiales adecuados como varillas de hierro, planchas de metal, tubería de cobre, etc.

Horno

El horno a leña es un aparato cerrado o recinto donde se produce calor por la combustión del material, utilizado para someter a transformaciones físicas o químicas a los objetos que se introducen en ellos (cocer alimentos).

Intercambiador de calor (IDC)

Aparato que facilita el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes, es decir que el intercambiador cumple la función de transferir el calor residual de la combustión de la biomasa seca, hacia un fluido de trabajo (agua), calentándolo progresivamente.

Tanque de almacenamiento

El tanque o termo de almacenamiento es una parte fundamental del sistema, encargado de almacenar el agua caliente proporcionado por el IDC hasta su utilización o al menos por algunos días; físicamente este termo es un cilindro bien aislado.

Balance energético

La ecuación de balance energético para la cocina mejorada construida está dada por:

$$E_{sum} = E_u + E_p + \Delta E$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Energía} \\ \text{suministrada} \\ \text{por la leña} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Energía útil,} \\ \text{extraída por} \\ \text{las ollas, el} \\ \text{horno y el IDC} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Energía perdida} \\ \text{por la chimenea,} \\ \text{paredes laterales,} \\ \text{superior e inferior} \\ \text{del sistema} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Incremento} \\ \text{de energía} \\ \text{almacenada en} \\ \text{las materiales} \\ \text{del sistema} \end{array} \right]$$

Energía útil

$$E_u = Q_u \begin{cases} Q_{sen} = m_a \cdot C_{esp} (T_f - T_i) \\ Q_{lat} = m_{a.evap} \cdot C_{lat} \end{cases}$$

Eficiencia

$$\eta = \frac{E_{u,total}}{E_{sum}} \times 100\%$$

Potencia útil

$$P_u = \frac{E_{u,total}}{t_f - t_i}$$

Donde:

- Q_{sen} : Cantidad de calor sensible del agua [kJ].
- m_a : Masa de agua [kg].
- C_{esp} : Calor específico del agua [kJ/kg°C].
- T_f y T_i : Temperatura final e inicial del agua [°C].
- Q_{lat} : Cantidad de calor latente del agua [kJ].
- C_{lat} : Calor latente del agua [kJ/kg°C].
- $m_{a,evap}$: Masa de agua evaporada [kg].
- P_c : Poder calorífico de la leña [kJ/kg].

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Son de fácil adquisición en el mercado nacional y de bajo costo. Para la recolección de datos de la temperatura en diferentes partes de la

cocina se usó un registrador multicanal (Squirrel), programable y computarizado con ocho entradas, multímetros digitales, termocuplas tipo K y cronómetros.

Metodología

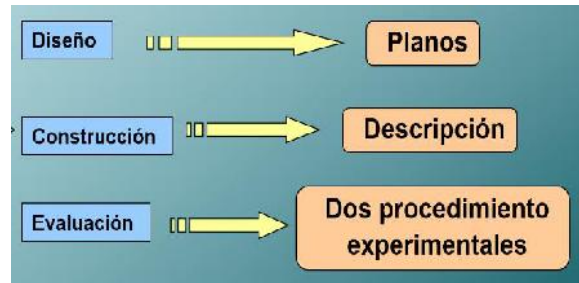


Figura N°01: Diagrama metodológico

Diseño

Se presentan a continuación los cortes transversal, lateral y planta de la cocina mejorada.

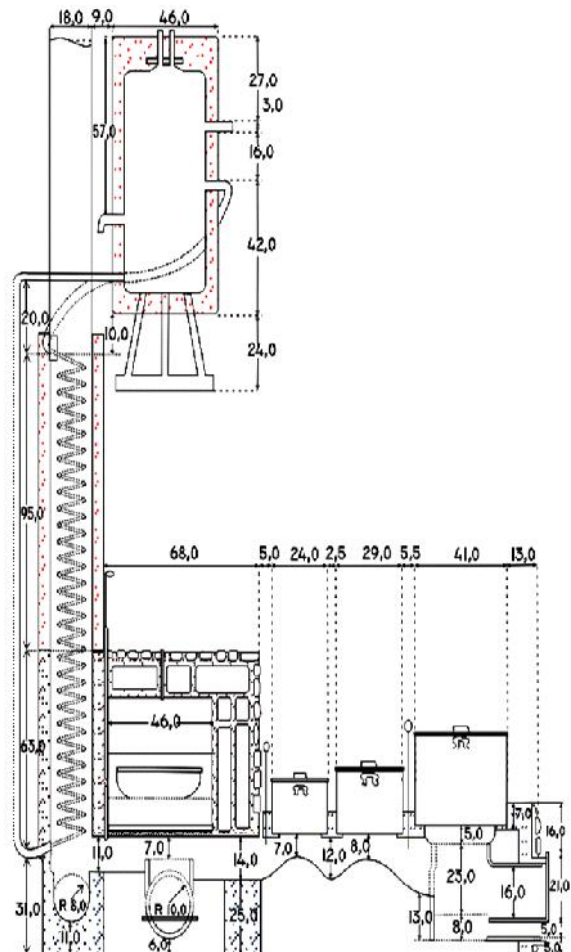


Figura N°02: Corte lateral del sistema

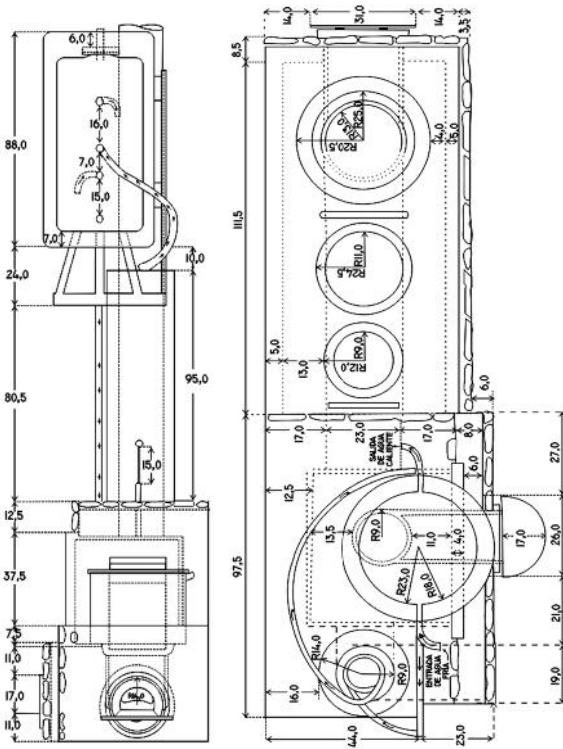


Figura N°03 y 04: Corte transversa y de planta del sistema

Construcción

Construida con ladrillos, adobes, varillas, planchas de metal, cemento, arcilla cocida, piedras, barro. Capacidad del tanque de almacenamiento es de 70 litros.

Evaluación

Se midieron la temperatura inicial y final del agua (T_p , T_f), masa del agua (m_a), masa de la leña (m_l), temperatura ambiente (T_{amb}) y tiempo que tarda el agua a su temperatura máxima (t). Se utilizó agua como sustancia de trabajo. Y se estudió el comportamiento térmico del agua durante el proceso. Se determinó la eficiencia del sistema mediante dos procedimientos diferentes: el primero sin cambio de estado y el segundo con cambio de estado. Las ecuaciones aplicadas en cada caso son respectivamente las siguientes:

$$\eta = \frac{1}{P_c \cdot m_l} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \left[C_{esp} \cdot \sum_{i=1}^5 (m_{a,i} \cdot \Delta T_{ins,i}) \right] \times 100\%$$

$$\eta = \frac{1}{P_c \cdot m_l} \cdot \sum_{i=1}^5 (C_{esp} \cdot m_{a,i} \cdot \Delta T_i + m_{a,evap} \cdot C_{lat}) \times 100\%$$

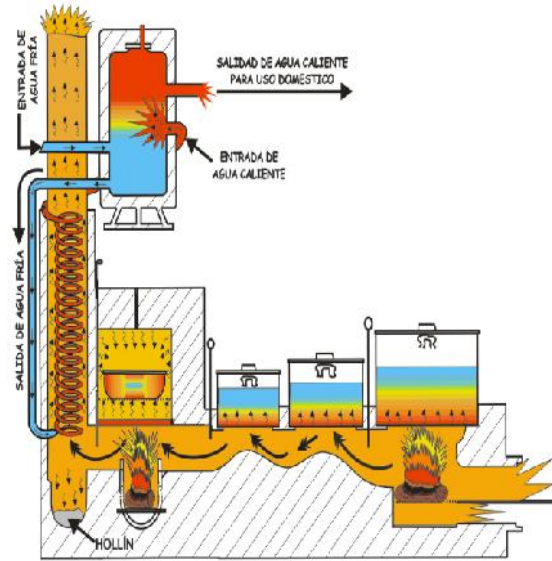


Figura N°05: Diagrama metodológico

comportamiento térmico del sistema cocina mejorada-tanque almacén para agua caliente.

Se elaboraron las gráficas del comportamiento térmico para el proceso de calentamiento y enfriamiento del agua.

RESULTADOS

A continuación se presentan imágenes sobre el sistema construido y en funcionamiento.



Figura N°06: Imagen del sistema completo de cocina mejorada con tanque almacén para agua caliente.



Figura N°07: Imagen de la distribución de las ollas en la cocina mejorada, para su evaluación.

A continuación se presentan gráficas sobre curvas características de temperatura versus tiempo.

Primer procedimiento experimental: Sin cambio de fase en el fluido de trabajo.

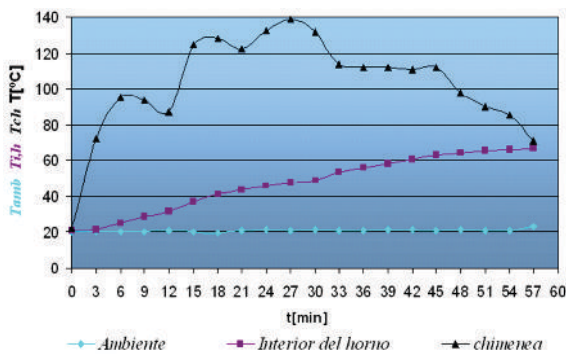


Figura N°08: Curvas de calentamiento del aire.

La temperatura máxima en el interior del horno fue de 66,5°C después de 57 min.

La temperatura máxima de la chimenea fue de 139°C después de 27 min.

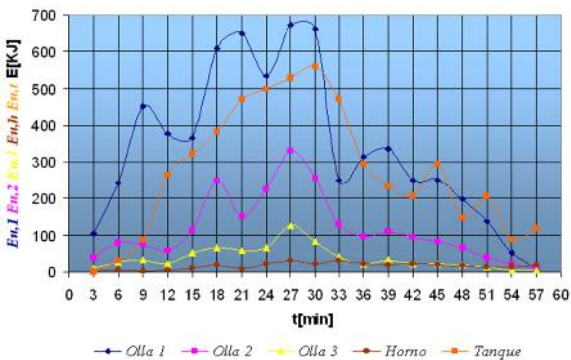


Figura N°09: Comparación de energías útiles vs tiempo.

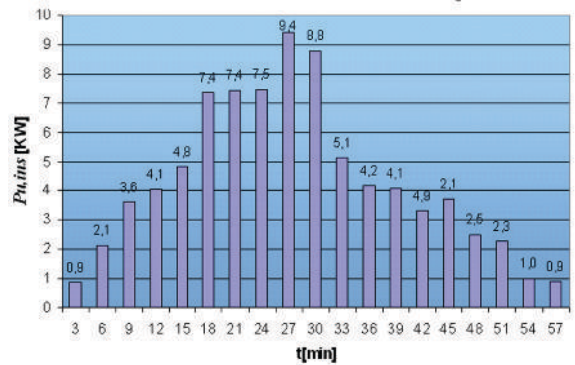


Figura N°10: Potencia util vs tiempo.

Segundo procedimiento experimental: Con cambio de fase en el fluido de trabajo.

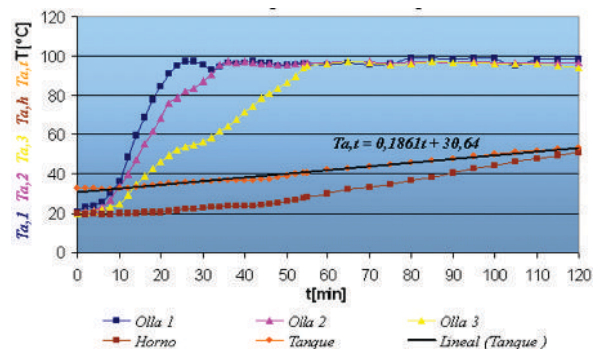


Figura N°11: Curvas de calentamiento y ebullición del agua para el sistema completo.

La ecuación mostrada en la figura indicó una velocidad promedio de calentamiento del agua en el tanque almacén de 0,1861°C/min.

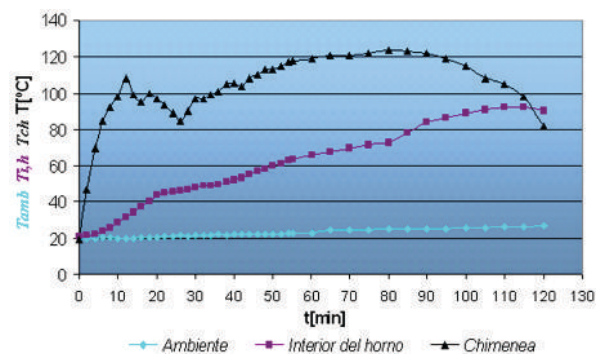


Figura N°12: Curvas de calentamiento del aire.

La temperatura máxima del horno fue de 92°C después de 110 min.
 La temperatura máxima de la chimenea fue de 124°C después de 80 min.

Para el horno y tanque de almacenamiento

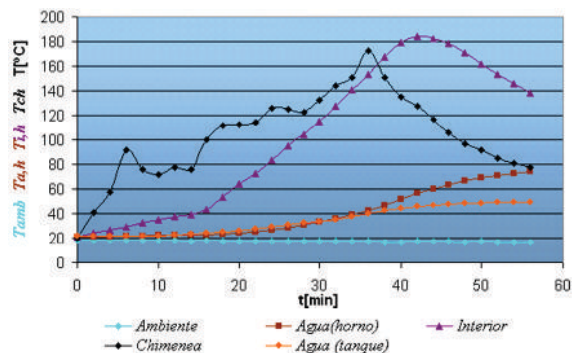


Figura N°13: Curvas de calentamiento del agua y aire para el sistema completo.

Las lecturas máximas fueron:

- Interior del horno, 184,1°C. Después de 42 minutos.
- Pérdidas por la chimenea e IDC, 172°C después de 36 minutos.
- El agua en el interior del horno, 78°C después de 56 minutos
- El agua en el tanque almacén, 49°C después de 56 minutos

Para el tanque de almacenamiento

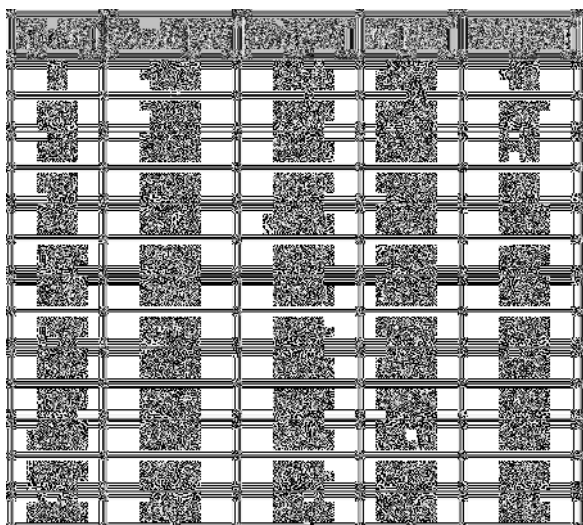


Figura N° 14: Datos tomados para el proceso de calentamiento del tanque de almacenamiento.

Donde:

- T_{amb} : Temperatura ambiente [°C].
- T_m : Temperatura media el interior del tanque de almacenamiento ubicado en la entrada de agua caliente [°C].
- T_c : Temperatura de consumo el interior del tanque ubicado en la salida de agua caliente [°C].
- T_{ch} : Temperatura en el interior de la chimenea [°C].

DISCUSIÓN

La Figura N°09 nos muestra una comparación de energía absorbida por el agua en las ollas, el horno y el tanque almacén. Esto demuestra que la olla N° 01 consume mayor energía que las demás ollas, esto debido a que la primera olla está en exposición directa por encima de la cámara de combustión.

La potencia útil absorbida por el sistema completo (Figura N°10) muestra un comportamiento característico uniformemente variable, esto se debe a que el proceso de consumo de la leña en la cámara de combustión se desarrolla por fases y etapas de cambio de estado tanto en la composición estructural interna como la externa.

Los puntos característicos del tanque de almacenamiento (color naranja) de la Figura N°11 describen un comportamiento rectilíneo de la temperatura del agua., por lo que aplicando el método de los mínimos cuadrados se obtuvo la siguiente ecuación que gobierna dicho comportamiento.

La temperatura máxima alcanzada por la chimenea en $t = 4800$ segundos, ha sido de 124°C , esto demuestra que una gran cantidad de energía aun es expulsada por efecto natural y desperdiciada por la chimenea. Motivo por el cual, incorporar un prototipo de absorbedor de energía calorífica es uno de los objetivos fundamentales de este trabajo de investigación.

La eficiencia de la cocina mejorada con horno e intercambiador de calor a través del primer procedimiento, es de 47,3%.

La eficiencia para el segundo procedimiento es de 50,3%.

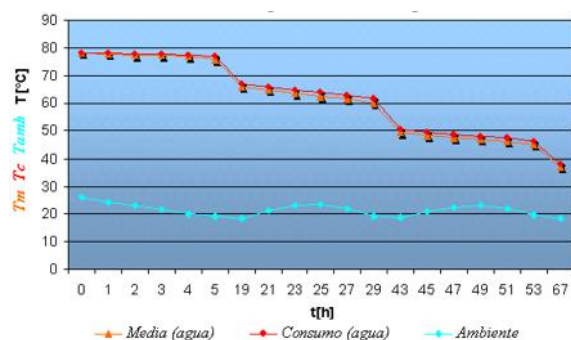


Figura N°15: Curvas de enfriamiento del agua.

La velocidad de calentamiento de agua del intercambiador de calor es de $15,4^{\circ}\text{C}/\text{h}$.

Para el proceso de enfriamiento del agua en el tanque de almacenamiento con intercambiador de calor, nos indica que; ha mantenido el agua caliente por arriba de los 38°C después de 67 horas.

CONCLUSIONES

Queda demostrado que la eficiencia de la cocina mejorada con horno e intercambiador de calor, es del 47,3% y supera en un 15% a otras cocinas del mismo tipo, entonces estos resultados en la práctica logrará un notable ahorro en leña y además proporcionará agua caliente gratis para diversas aplicaciones domésticas, mejorando así la calidad de vida de la población de las zonas altoandinas de la Región Tacna.

Con este modelo de cocina mejorada se ha logrado aprovechar el calor remanente que se perdía por la chimenea en los modelos

convencionales de cocinas mejoradas, usando ahora este calor para el calentamiento de agua para uso doméstico como lavado de utensilios, lavado de ropa, aseo personal y otros usos artesanales.

Desde el punto de vista ambiental, económico y social, los resultados obtenidos nos permiten concluir que su aplicación masiva es una alternativa de solución que permitiría revertir la situación actual causando impactos positivos como la reducción de los niveles de contaminación intramuros, reducción de la tasa de deforestación y desertificación, disminución de problemas de salud, mejoras en la calidad de dieta alimenticia y por lo tanto una mejor calidad de vida de la población.

AGRADECIMIENTOS

Al sr. Edgar Velázquez propietario del fundo los Velázquez por financiar la investigación.

Al CER-TACNA por el apoyo en asesoramiento y facilitar los equipos de medición para la toma de dato y análisis de resultados.

Al DAFI-ESFI por asesoría y tramites documentarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Braunschweig; Wiesbaden; "Estufas para ahorrar combustible" _Editorial Lengericher Westf _Federal Republic of Germany-1985.

Arias, T; Cervantes, V.; "Las Estufas de barro ahorradoras de leña" ¿Una tecnología apropiada para la región de la Montaña de Guerrero? _PAIR-UNAM México-1994.

Camps M.; Marcos F.; Los bio combustibles _Editorial Adeos, s.a._Mundi Prensa, Madrid _España-2002.

Puentes, V.; Masera O.; Evaluación del programa de difusión de estufas eficientes de leña tipo Lorena en la región Lago de Pátzcuaro, Michoacán _Editorial Rincón E., Álvarez, G.; Dorantes, r._México-1999.

Anibal V.; Energía Solar I _Editorial Víctor López Guzmán_ 1ª Ed. _Lima-Perú-1993.
Olvea V.; Tecnologías para ahorrar energía:

Diseño construcción y puesta en funcionamiento de una cocina mejorada para ahorrar leña_Practicas pre-profesionales_FACI-ESFI_Tacna-Perú-2005.

Quino G.; Evaluación comparativa de una cocina tradicional y una mejorada para ahorrarleña_Practicas pre-profesionales_FACI-ESFI_Tacna-Perú-2005.

Dutt, G.; Navia, J.; Sheinbaum, C.; "Cheranátzicurin: Tecnología Apropriada Para Cocinar Con Leña"-1989.

Yunus A.; Gengel; "Transferencia de calor"_Editorial McGrawhill/interamericana editores S.A. de CV_2da Ed._2004.

Rodríguez, O. Energías Renovables_Editorial Paraninfo_Madrid-España-1999.

Dunn, P.d.; Renewable Energies IEE energy series_V-2_Inglaterra-1986.

Montgomery, R.; Energía Solar_Editorial Limusa S.A._1ª Ed._México-1986.