

NUEVAS PRUEBAS DE RENDIMIENTO EN UNA COCINA A LEÑA PARA LA AGRICULTURA FAMILIAR PAMPEANA. MEDICIÓN DE EMISIONES Y DIMENSIONAMIENTO DE LA ENTRADA DE AIRE

E. Battista¹, F. Ocampo², V.J. Passamai³

Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar INTA -IPAF
Calle 403 e/ Camino Centenario y calle 6 - C.P. 1894 – Villa Elisa, La Plata, Buenos Aires
Tel. 0221-487 1079 – e-mail: ipafregpamp@correo.inta.gov.ar

Recibido 10/08/16, aceptado 09/10/16

RESUMEN: El presente trabajo expone los resultados de nuevas pruebas de rendimiento realizadas a una cocina a leña para la Agricultura Familiar de la Región Pampeana, con el objetivo de mejorar la eficiencia en la combustión y mejorar los tiempos de operación. Para ello, el prototipo inicial (dimensionado para el calentamiento de una olla de 9 litros) fue probado en términos de emisiones siguiendo el ensayo del agua hirviendo (WBT en inglés), registrando altas concentraciones de CO a la salida de la chimenea. Para reducir estos valores se re-calculó el ingreso de aire a la cámara de combustión colocando una entrada secundaria con una división 30-70% (aire primario-secundario). El prototipo modificado fue nuevamente probado mediante el WBT obteniendo un rendimiento del 35% y reduciendo un 20% el tiempo de operación.

Palabras clave: cocina a leña, Agricultura Familiar, ensayo de agua hirviendo

INTRODUCCIÓN

Más de dos billones de personas en el mundo dependen de los derivados de la madera para cocinar y calefaccionar viviendas, especialmente en los países en vías de desarrollo (FAO, 2009a) . El uso de la leña en Latinoamérica es uno de los indicadores usados para describir el nexo entre pobreza y energía: en áreas rurales se suele consumir leña y el acceso a la electricidad es muy limitado (Kozul, 2011) .

En Argentina, el uso de madera como combustible ha sido subestimado debido a que históricamente estuvo vinculado a mercados informales (FAO, 2009a, 2009b) . En algunas provincias como Santiago del Estero, estudios preliminares sobre el empleo de madera para fines energéticos indican cifras veinte veces mayores que las oficiales (Fiorentino, 2009) . Paralelamente, el último censo revela que más del 97% de la población argentina accede a la red eléctrica (INDEC, Censo Nacional de Población, 2010; Justianovich, 2015) . Sin embargo, en las áreas rurales existen problemas significativos en términos de calidad del suministro que evidencian las fallas de la actual matriz energética y principalmente, de su distribución en el territorio (Battista y Justianovich, 2015) . Una definición más profunda del concepto “acceso a la energía” se vincula no sólo al acceso a la electricidad sino también a la cocción de alimentos de manera segura (World Energy Outlook, 2015) .

En las áreas rurales, el gas envasado es el combustible más usado para este fin; pero cuando los productores familiares no pueden afrontar el costo de la garrafa, la leña aparece como alternativa a la hora de cocinar y calentar agua para uso sanitario. Ambas funciones no sólo corresponden al uso doméstico, sino también productivo, presente por ejemplo en la elaboración de subproductos lácteos (Battista, et. al., 2014) .

1

Investigadora INTA - IPAF

2 Investigador INTA - IPAF

3 Investigador CONICET - UNSa

En concordancia con las prácticas antes expuestas, las cocinas y calentadores mejorados a leña son artefactos comunes en toda Latinoamérica (Wang, et al., n.d.; Westhoff y Germann, 1995), que en su mayoría se orientan a reducir los tiempos de operación, el consumo de leña y las emisiones de CO₂ y CO al ambiente. Entre las pruebas de rendimiento más difundidas se encuentra el Ensayo de Agua Hirviendo (WBT por sus siglas en inglés) (Baldwin, 1987; Robert van der Plas y Mukunda, 2009). La bibliografía disponible acerca de cocinas a leña ensayadas mediante el WBT, indica rendimientos que rondan entre el 20 y 30% (Orki González Expósito, 2013; Wang et al., n.d.). Este tipo de artefactos responde específicamente a la necesidad de cocinar en climas templados, ya que su objetivo no es entregar calor al ambiente sino transferirlo de manera rápida a los alimentos. Cuando el alimento se prepara en olla, el principio más utilizado es el de humos calientes (Baldwin, 1987; Bryden et al., 2006; Stahringer y Cardozo, 2012) donde el recipiente se coloca en el interior de la cámara de combustión y los humos calientes ascienden por su perímetro, aprovechando hasta un 50% más el calor Estufas como la tipo rocket de Canadá (Bryden et al., 2006) y la turbococina de San Salvador (Méndez et al., 2010), responden a este tipo de morfología.

En trabajos anteriores se detalló la importancia de diseñar una cocina mejorada a leña para productores familiares de la región pampeana, al relevar el uso frecuente de braseros autoconstruidos y fuegos abiertos como complemento al gas envasado (Battista, et. al., 2015; Battista et al., 2014). En el año 2014 se comenzó el diseño de la cocina en el marco del proyecto “Desarrollo de Energías Renovables para la Agricultura Familiar y unidades productivas de baja escala (INTA)”. Este desarrollo tomó como antecedente directo un brasero optimizado introducido en la provincia de Salta por Tom Lawand del Brace Research Institute (Giroux, et al., 2005). Una vez dimensionada, se construyó un prototipo de la cocina que fue sometida al WBT obteniendo rendimientos del orden del 37%. La figura 1 muestra el antecedente estudiado y el prototipo construido y testeado durante 2015.



Figura 1: Brasero optimizado diseñado por Tom Lawand, Canadá (izquierda) y prototipo de la cocina diseñada (derecha)

Como continuación al estudio de rendimientos iniciado en 2015, este trabajo se estructura de la siguiente manera: primero, presenta una segunda instancia de testeo incluido en el WBT para la medición de emisiones al ambiente (Robert van der Plas y Mukunda, 2009). Luego, a partir de los resultados que indicaron altas concentraciones de CO, se detalla la metodología por medio de la cual se realizó una modificación en la cámara de combustión del prototipo agregando una entrada de aire secundario, con el objetivo de lograr una combustión más completa y consecuentemente, mejorar el rendimiento global del artefacto. En la siguiente sección se exponen los resultados obtenidos en una nueva prueba de del WBT para las fases de alta potencia en frío, en caliente y baja potencia (Robert van der Plas y Mukunda, 2009). Finalmente, en el apartado de discusión se comparan los datos de

rendimiento entre el prototipo inicial y su rediseño, identificando futuros desarrollos para continuar su investigación. Cabe destacar a modo de agradecimiento, que la etapa de medición de humos fue llevada a cabo en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Departamento de Energía dirigido por Mario Ogara, bajo la supervisión y colaboración en el ensayo de Alberto Nanami y Pablo Romero.

METODOLOGÍA

Si bien las pruebas de rendimiento sobre artefactos a leña se enfocan mayoritariamente en la cantidad de combustible empleado, otro factor importante a medir es la composición de las emisiones, producto de la combustión de los equipos. A su vez, pueden establecerse relaciones entre cantidad de combustible y emisiones que afectan el rendimiento de los artefactos, por lo que analizar dichos productos permite complementar los ensayos. El Ensayo de Agua Hirviendo (WBT) contempla esta instancia de medición en donde el compuesto más importante es el CO, debido a sus efectos a corto y largo plazo sobre la salud (Robert van der Plas y Mukunda, 2009). Tomando como referencia el protocolo de ensayo del WBT, el proceso de medición se resume por medio de los siguientes pasos:

1. Ensayo WBT: la cocina se probó utilizando una olla con 5 litros de agua, que durante el test se calentó hasta alcanzar su punto de ebullición. El registro de emisiones se realizó durante la fase de alta potencia en frío, es decir, con la cocina fría y utilizando la mayor cantidad de leña posible con el fin de acelerar el calentamiento del agua (Robert van der Plas y Mukunda, 2009)
2. Se utilizó un multímetro marca “UNI-T” modelo UT55 colocado en el interior de la olla para registrar las variaciones de temperatura del agua. Para pesar la leña utilizada y el carbón remanente se empleó una balanza electrónica digital marca “Trébol”, con capacidad máxima de 60 kg, mínima de 0,1 kg y precisión de 5 gr. digital.
3. Para el registro de emisiones se empleó un equipo analizador marca “Testo” modelo 350XL, con el que se midió el CO (ppm) temperatura de los humos y del ambiente. La temperatura de los humos calientes se tomó ubicando el sensor a 1 metro desde la salida de la cocina (Figura 1).
4. La medición de gases se estableció cada tres minutos desde el inicio de la combustión hasta alcanzar el punto de ebullición del agua en la olla.



Figura 2. Ensayo de emisiones siguiendo el protocolo WBT. Vista general (izquierda), colocación del termómetro en el interior de la olla (medio) y equipo utilizado para el registro de datos (derecha).

El gráfico de la Figura 3 muestra el comportamiento de la cocina, y la relación con la cantidad de CO.

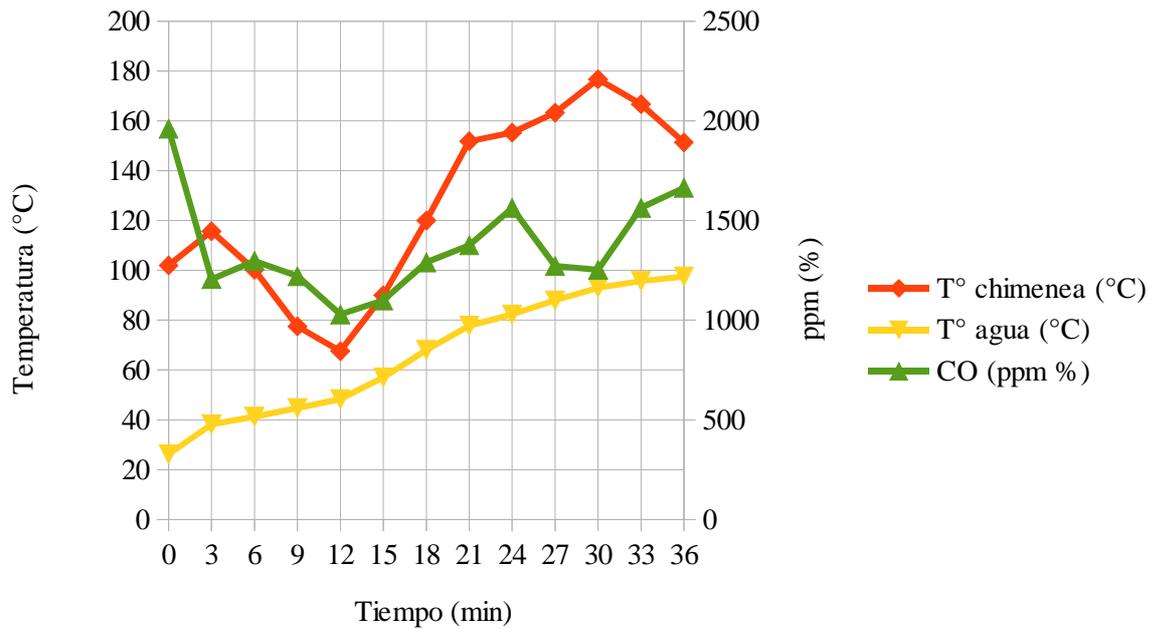


Figura 3: evolución de la temperatura durante el WBT respecto de la concentración de CO.

Los datos relevados fueron consultados con investigadores del equipo de INTI Energía (Buenos Aires), indicando altas concentraciones de CO. A su vez, la observación durante los ensayos permitió verificar una mala relación aire/combustible (A/C) ya que en el procedimiento fue necesario abrir la puerta de la cocina en reiteradas oportunidades para evitar que el fuego se apagara, indicando una entrada de aire insuficiente. Otra prueba de la combustión incompleta pudo verse en el tizne negro adquirido por la olla y el interior del artefacto.

Con el objetivo de mejorar la operación de la cocina y reducir emisiones, se procedió a recalcular y modificar la distribución de la entrada de aire. Se definió una relación 30-70 (Romero, et al., 2014) distribuyendo el ingreso de aire en una entrada primaria (manteniendo los orificios originales) y sumando un nuevo ingreso en la parte superior de la cámara de combustión.

Cálculo para la entrada de aire secundario

El flujo de aire de combustión se determina a partir del flujo de combustible, la relación estequiométrica Aire/Combustible (A/C) y el Exceso de Aire. Para la cocina, la energía útil $Q_{\text{útil}}$ corresponde a la suma de los flujos de calor por convección Q_{conv} y radiación Q_{rad} (Fórmulas 1, 2 y 3). Desde el punto de vista de la convección, el objetivo fue aumentar el coeficiente convectivo h (Fórmula 3). Esto se logró con un aumento de la velocidad de aire, favoreciendo su circulación alrededor de la olla.

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = \dot{Q}_{\text{conv}} + \dot{Q}_{\text{rad}} [KW] \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h \times A (T_{p, \text{cocina}} - T_{\text{aire}}) [KW] \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \varepsilon \times \sigma \times (T_{\text{llama}}^4 - T_{\text{pared}}^4) [KW] \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{\text{humos}} = \dot{m}_{\text{humos}} \times C_{p, \text{humos}} \times (T_{\text{humos}} - T_0) + \dot{Q}_{\text{comb. incompl.}} [KW] \quad (4)$$

Las pérdidas por los humos Q_{humos} que se van por la chimenea (Fórmula 4) corresponde a la energía sensible de productos típicos del proceso de combustión (CO₂, H₂O, N₂, y O₂) y a aquellos productos de combustión incompleta.

Según la bibliografía (Incropera y DeWitt, 1999) , el caudal másico para un conducto de área transversal A0 se determina por:

$$\dot{m} = C_d \times A_0 \sqrt{2 \times \dot{g} \times \Delta h} \quad (5)$$

Dónde:

C_d es el coeficiente de descarga cuyo valor adimensional más usado para el caso es 0,6.

A_0 es el área transversal atravesada por el fluido (en este caso el aire).

\dot{g} es la gravedad de valor $9,81 \text{ m/s}^2$

Δh es la diferencia de altura entre la entrada y la salida de aire. Para este caso se estableció una altura de $0,2 \text{ m}$ entre la altura media de la puerta y la salida de los gases por la parte posterior de la cocina que comunica al tiraje, de 10 cm de diámetro de caño y una sección circular de 315 cm^2 .

El flujo másico de aire \dot{m}_{aire} se calculó en base a la cantidad de aire que almacena la cámara de combustión y el tiempo total en que hierve el agua de la olla. Para una masa $m = 6 \text{ Kg}$ y un tiempo $t = 0,683 \text{ h} = 2459 \text{ s}$ (correspondiente al tiempo de ensayo más favorable) se obtiene:

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{m}{t} = 2,45 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right] \quad (6)$$

Para expresar la masa calculada en unidades de volumen se usó la densidad del aire cuyo valor adoptado es de $1,16 \text{ Kg/m}^3$. Como el tiempo no varía el caudal volumétrico es:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{2,45 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{1,16 \text{ Kg/m}^3} = 2,11 \times 10^{-3} [\text{m}^3] \quad (7)$$

De la Fórmula (5) se despeja el área suponiendo que el caudal de aire se mantiene constante entre la entrada y la salida, donde el flujo másico es el mismo que el caudal volumétrico:

$$A_0 = \frac{\dot{V}}{C_d \times \sqrt{2 \times \dot{g} \times \Delta h}} \quad (8)$$

$$A_0 = \frac{2,11 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]}{0,6 \times \sqrt{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,2 \text{ m}}}$$

$$A_0 = 1,77 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_0 \square 18 \text{ cm}^2$$

El cálculo del área de entrada de aire inicial alcanzó un valor de total de 6 cm^2 , un tercio del valor de A_0 calculado. Teniendo en cuenta lo dicho en relación a las entradas de aire primario y secundario, este valor se aproxima sólo al 30%. Para evitar grandes modificaciones al equipo, se optó por realizar perforaciones a la cocina a la altura de la base de la olla completando el valor de los 18 cm^2 . Las nuevas entradas de aire se ubicaron en la parte superior de la puerta y en los laterales del cuerpo de la cocina logrando una mayor envolvente y facilitando la combustión en la cámara. En total se realizaron dieciséis orificios de $\phi 10 \text{ mm}$ para completar el 70% de la entrada de aire secundario (Figura 4). El diseño del artefacto puede observarse en la Figura (5).

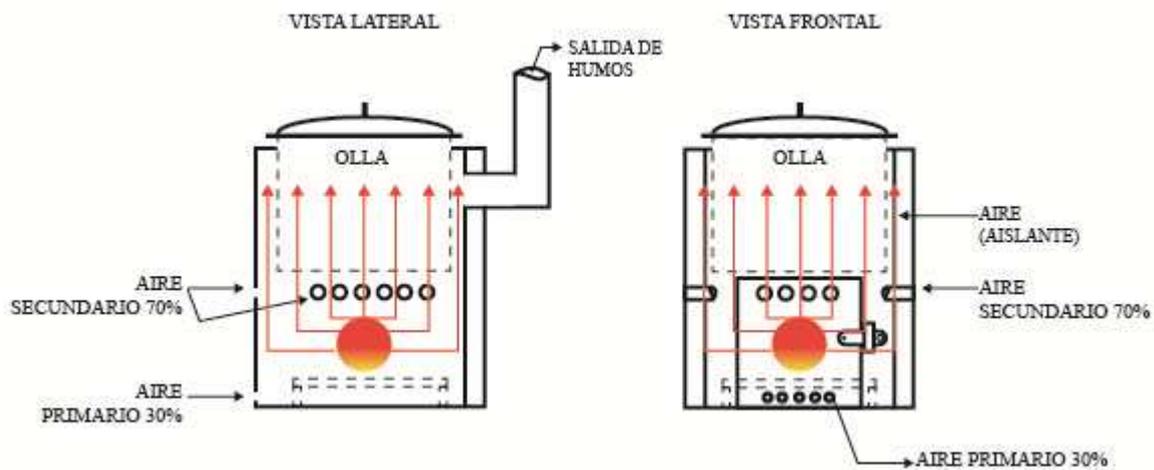


Figura 4: Esquema de la cocina indicando la distribución del ingreso del aire, la posición de la olla y la salida de humos.



Figura 5: Vistas generales de la cocina diseñada, realizada en chapa de 1,2 mm y doble pared, utilizando el aire como aislante. La imagen de la derecha muestra la ubicación de la olla en el interior de la cámara de combustión.

Nuevas pruebas de rendimiento usando el WBT

Con el nuevo diseño se procedió a realizar nuevamente los ensayos, para comparar los tiempos de ejecución y cantidad de combustible empleado. Brevemente se describen las tres fases del método empleado:

- 1) WBT inicio en frío y alta potencia: llevando a ebullición 5 litros de agua con la cocina en frío, de la manera más rápida posible;
- 2) WBT inicio en caliente y alta potencia: se repite la prueba anterior inmediatamente después de finalizar la prueba de alta potencia en frío, con la cocina ya precalentada;
- 3) WBT a baja potencia: se mantiene el agua llevada a ebullición en la fase de inicio en caliente por 45 minutos, en un rango de variación máximo de temperatura del orden de los ± 3 °C y con un uso mínimo de combustible.

En cada una de las fases, se registran el peso inicial y restante de la leña empleada, de la olla con agua y del carbón remanente. El registro de temperatura se establece cada tres minutos.

En cuanto al combustible utilizado, se mantuvo el uso del eucaliptus colorado, especie accesible en la región cuyo poder calorífico inferior es del orden de 15.412 kJ/kg (Camps Michelena y Martín, 2002).

De cálculos previos se deduce que para llevar a ebullición 5 kg de agua se necesitan 1843,6 kJ a través de la fórmula:

$$\begin{aligned}
 Q &= m \times C_p \times \Delta T \\
 Q &= 5 \times 4,19 \times 85 \\
 Q &= 1843,6 \text{ kJ}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Donde:

Q= cantidad de calor que absorbe el agua

m = masa de agua = 5 [kg]

Cp = calor específico del agua [kJ/kg °C]

ΔT = diferencial de temperatura con la de ebullición, para una temperatura inicial de 12 °C (promedio registrado durante el mes de agosto)

Para una combustión teórica e ideal, según datos de la fórmula (9), la cantidad de leña necesaria para hervir los 5 kg de agua es de 0,120 kg. Más adelante se cotejará con la cantidad real empleada. La Figura (6) muestra algunas imágenes de la cocina modificada.



Figura 6: Vistas de la cocina con la nueva entrada de aire distribuida en los laterales y al frente de la puerta.

RESULTADOS

El total de la leña empleada durante las tres fases de prueba del WBT ascendió a un total de 1,83 kg, para las casi dos horas de uso de la cocina.

Para establecer el rendimiento global del equipo se utilizó para cada fase la fórmula de PHU (porcentaje de calor utilizado, de sus siglas en inglés) (Baldwin, 1987; Robert van der Plas y Mukunda, 2009). Para el total de leña empleados en cada fase, la Fórmula (10) establece:

$$PHU = \frac{(C_{p_{H_2O}} \times m_{H_2O} \times \Delta T) + C_{l_{H_2O}} \times m_{H_2O}}{(m_{leña} \times PCI_{leña}) - m_{carbón} \times PCI_{leña}} \times 100 []
 \tag{10}$$

Donde:

Cp_{H2O} = calor específico agua= 4,9 [kJ/kg °C]

m_{H2O} = masa inicial de agua [kg]

ΔT = variación de la temperatura= 85 (°C)

Cl_{H2O} = calor latente de vaporización del agua = 2260[kJ/kg °C]

m_{2H2O} =cantidad de agua evaporada [kg]

$m_{leña}$ = leña total utilizada [kg]

$PCI_{leña}$ = poder calorífico inferior de la leña = 15412 [kJ/kg]

$m_{carbón}$ = carbón remanente dentro de la cámara de combustión [kg]

La potencia del sistema se determinó por:

$$P = \frac{(m_{leña} \times PCI_{leña}) - m_{carbón} \times PCI_{leña}}{T} \quad (11)$$

Donde:

$m_{leña}$ = cantidad de leña utilizada [kg]

$PCI_{leña}$ = poder calorífico inferior de la leña [kJ/kg]

$m_{carbón}$ = carbón remanente [kg]

T = tiempo requerido para la ebullición [seg]

La Figura (7) permite visualizar el comportamiento de la cocina en las dos primeras fases del WBT. Debido a los materiales empleados en su construcción, el metal no absorbe el calor de la combustión, por lo que no se observan mejoras sustanciales entre las fases 1 y 2 de Alta Potencia en Frío y en Caliente:

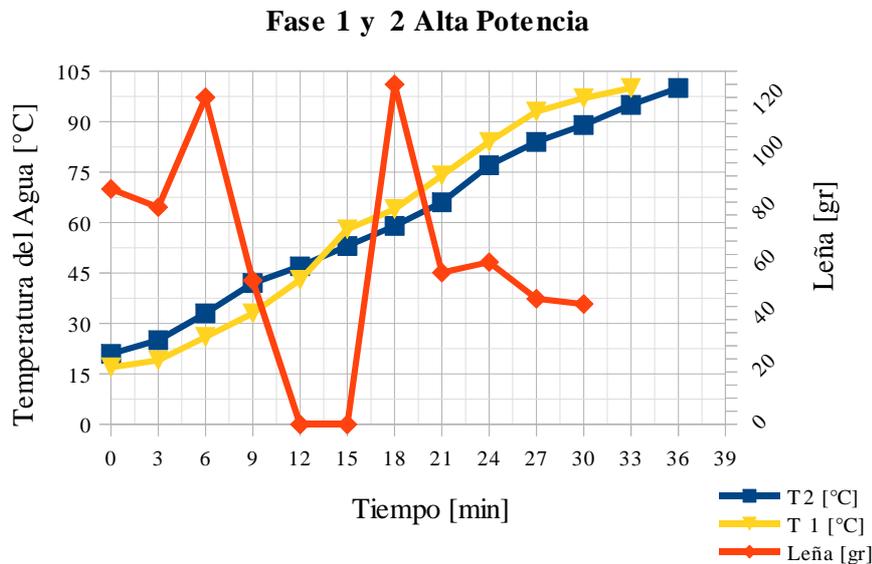


Figura 7

: Consumo promedio de leña y evolución de la temperatura respecto del tiempo para la fase 1 de Alta Potencia en Frío (T1) y fase 2 de Alta Potencia en Caliente (T2)

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos en cada fase para la cocina estudiada antes y después del replanteo de la entrada secundaria de aire:

| | Prototipo 1 | | | Prototipo 2 | | |
|---------------------------------|--------------------|------------------------|---------------|--------------------|------------------------|---------------|
| | Alta potencia Frío | Alta Potencia Caliente | Baja Potencia | Alta Potencia Frío | Alta potencia caliente | Baja Potencia |
| Tiempo para la ebullición (min) | 41 | 38 | 45 | 33 | 36 | 45 |
| Cantidad de leña utilizada (kg) | 0,45 | 0,40 | 0,30 | 0,65 | 0,70 | 0,48 |
| Agua evaporada (kg) | 0,26 | 0,24 | 0,45 | 0,28 | 0,30 | 0,76 |
| Carbón remanente (kg) | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,2 | 0,1 | 0,05 |
| Tasa de consumo (kg/h) | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 1,2 | 1,2 | 0,6 |
| Potencia (kw/min) | 2,6 | 2,5 | 1,5 | 3,5 | 5,4 | 3,4 |
| Eficiencia térmica (%) | 37 | 41 | -* | 35 | 23 | -* |

*Tabla 1: parámetros medidos y resultados obtenidos en cada una de las fases del WBT para la cocina antes y después de las modificaciones. *No se aconseja calcular ya que en esta fase la temperatura es constante.*

DISCUSIÓN

Haciendo una comparación entre la cocina original y la modificada, la principal ventaja con la entrada de aire secundario aparece en la reducción de los tiempos de operación: 33 minutos frente a 41 minutos en el primer prototipo, lo que indica una reducción en el tiempo cercana al 20%. Respecto del rendimiento, el PHU de la nueva disminuye de un 37 a un 35%, con un empleo promedio de 200 gr más de leña por prueba. Frente a estos valores, resulta necesario recurrir a otros parámetros de rendimiento, que se vinculan más a las facilidades en el uso del artefacto: la nueva entrada de aire facilitó el manejo de la cocina, brindando una gran autonomía respecto de la original. Si bien la carga de combustible constituye un parámetro de gran variabilidad, para la totalidad del WBT se requiere de un promedio de 1,8 kg de leña, repartidos en casi 2 horas de prueba. A esto se le suma la simplicidad en el uso, que puede mejorarse a nivel constructivo y de diseño agregando entre otras cosas, un vidrio templado que permita visualizar el interior de la cámara de combustión para así evitar la apertura innecesaria de la puerta.

Aun no se realizaron nuevos ensayos para verificar el cambio en las emisiones, a la vez que estudiar otros compuestos producto de la combustión como CO₂ y material particulado, lo cual dará una idea más global de la eficiencia del proceso. Sin embargo, la mejora en los tiempos resulta un buen indicio para avanzar en los ensayos.

Finalmente, desde su construcción la cocina ha sido probada más de 10 veces utilizando el WBT. De la experiencia en el uso, se desprende que el rendimiento de la cocina se ve afectado en gran medida por el conocimiento del usuario y su práctica en el uso, ya que se pudieron registrar tiempos de operación de menos de 24 minutos (para hervir los 5 kg de agua del ensayo). El conocimiento en la tecnología del fuego supone una ventaja respecto de otros principios de funcionamiento que pueden colaborar en la adopción del artefacto estudiado. Dado que la difusión de cocinas a leña es muy amplia en todo el continente, el foco de futuras investigaciones deberá orientarse a verificar condiciones reales de uso fuera del laboratorio, en campo de productores. El único indicador real de éxito de tecnologías más eficientes supone un estudio mayor no solamente vinculado al rendimiento sino a la cantidad de artefactos realmente instalados y en uso (Wang et al., s.f.), aspecto clave con el cual idear políticas para su implementación en el ámbito de la Agricultura Familiar.

REFERENCIAS

- Baldwin, S. (1987). Biomass Stoves, Engineering Design, Development and Dissemination. Virginia: VITA. Recuperado de [http://blog.newdawnengineering.com/website/library/Papers+Articles/Biomass Stoves, Engineering Design, Development and Dissemination, Samuel Baldwin 1987.pdf](http://blog.newdawnengineering.com/website/library/Papers+Articles/Biomass+Stoves,+Engineering+Design,+Development+and+Dissemination,+Samuel+Baldwin+1987.pdf)
- Battista, D. E., y Justianovich, S. H. (2015). De la frontera del artefacto a la del sistema tecnológico. El diseño y las energías renovables en el ámbito rural. 2do Congreso Latinoamericano de Diseño en Universidades Públicas Latineamericanas, DiSUR . Buenos Aires: DISUR.
- Battista, D. E., Justianovich, S. H., y Passamai, V. J. (2015). Diseño, construcción y evaluación de una cocina a leña para la Agricultura Familiar. AVERMA Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente.
- Battista, E., Justianovich, S. H., Passamai, T., y Passamai, V. J. (2014). Dispositivos para ahorro de gas en la elaboración de subproductos lácteos en pequeños tambos del partido de San Vicente, Buenos Aires. Acta de XXXVII Reunión de Trabajo de La Asociación Argentina de Energías Renovables Y Medio Ambiente AVERMA, 2, 07.45–07.51.
- Bryden, M., Still, D., Scott, P., Hoffa, G., Ogle, D., Bailis, R., & Goyer, K. (2006). Design Principles for Wood Burning Cook Stoves. Estados Unidos.
- Camps Michelena, M y Martín, F. M. (2002). Los biocombustibles, 1ª edición, pp. 100-101, 107. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- FAO. (2009a). Análisis del Balance de Energía derivada de Biomasa en Argentina, 118. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/011/i0900s/i0900s00.htm>
- FAO. (2009b). Análisis del balance de energía derivada de la biomasa en Argentina - WISDOM Argentina - Informe Final. FAO Departamento Forestal Dendroenergía, 120.
- Fiorentino, M. G. (2009, June 4). Primer registro estadístico del uso popular de leña. Argentina Investiga. Divulgación Y Noticias Universitarias. Santiago del Estero. Recuperado de <http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?id=647#.V2e1b7iLTIU>
- Giroux, J. F., Stoll, D. A., y Passamai, V. J. (2005). Uso de braseros a leña en comedores infantiles de la ciudad de Salta. Biotechnology, (September), 2861–2864. <http://doi.org/10.1002/oby.20659>
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). Fundamentos de transferencia de calor. <http://doi.org/536.2/I36f.4>
- INDEC, Censo Nacional de Población, H. y V. (2010). Cuadro H11. Total del país. Hogares por tipo de vivienda, según tenencia de electricidad. Recuperado de http://www.indec.gov.ar/censos_total_pais.asp?id_tema_1=2&id_tema_2=41&id_tema_3=135&t=0&s=0&c=2010
- Justianovich, S. H. (2015). Desarrollo de Energías Renovables para la Agricultura Familiar y unidades productivas de baja escala. Informe de Gestión 2014-2015. La Plata.
- Kozul, R. (2011, October). Energía y Pobreza. Ultimatum a La Tierra, pp. 108–115. Buenos Aires. Recuperado de http://www.vocesenelfenix.com/sites/default/files/numero_pdf/N.10_completa_baja.pdf

- Méndez, M. I., García, E. U., & Nuñez Suarez, R. (2010). Turbococina. Manual de Uso. (R. Nuñez Suarez, Ed.), Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (UNEP) (Vol. 1). San Salvador. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Orki González Expósito, J. (2013). Estudio comparativo de cocinas mejoradas en Nicaragua. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <http://www.upv.es/entidades/CCD/infoweb/ccd/info/U0635489.pdf>
- Robert van der Plas, H., y Mukunda, S. (2009). The Water Boiling Test Version 4.1.2, 2 (January 2013), 52. Recuperado de <http://www.aprovecho.org/lab/pubs/testing>
- Romero, P. D., Nanami, A., y Ogara, M. (2014). Recomendaciones para el diseño de combustores de biomasa de alto rendimiento. Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI. Buenos Aires.
- Stahring, E., y Cardozo, F. (2012). Cocinas a leña. Experiencias de modelos en el nordeste argentino. Recuperado de <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-cartilla-cocina-hornos.pdf>
- Wang, X., Franco, J., Omar R. Masera, Troncoso, K., y Rivera, M. X. (s.d.). ¿Qué Hemos Aprendido del Uso de Biomasa para Cocinar en los Hogares de AMÉRICA CENTRAL?
- Westhoff, B., y Germann, D. (1995). Estufas en Imágenes, 1ª edición, Comisión de las Comunidades Europeas Dirección General del Desarrollo. Bruselas.
- World Energy Outlook. (2015). Methodology for Energy Access Analysis

ABSTRACT: This work shows new testing results around firewood cookstove performance for Family Farming in the Pampeana Region. The aim is to improve combustion efficiency and operating time to facilitate its use. The initial prototype (dimensioned for a pot with 9 liters of capacity) was tested in terms of emissions following the Water Boiling Test procedures, which indicated high CO concentrations at the exit of the chimney. According to reduce these values, the air entrance was re-dimensioned, placing a secondary entrance with a 30-70% distribution. The modified prototype was tested again using the WBT, with a performance that went to 35% and a 20% reduction for the operating time.

Keywords: firewood cookstove, Family Farming, Water Boiling Test