

Guatemala, 22 de noviembre del 2017

M Sc. Gerardo L. Arroyo C.
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Maestro Arroyo:

Adjunto a la presente el informe final “Evaluación de la eficiencia energética y emisiones intradomiciliarias de monóxido de carbono, material particulado 2.5 de las principales estufas ahorradoras de leña fabricadas y distribuidas en Guatemala” (partida presupuestal 4.8.63.4.11), coordinado por el ingeniero Mauricio Valentino Rivera Tello y avalado por el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado de acuerdo a la guía de presentación de la Dirección General de Investigación y revisado su contenido en función de los objetivos planteados y productos esperados, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente. Así mismo el coordinador se compromete a dar seguimiento al proceso de revisión, edición del informe final y elaborar el manuscrito científico de calidad para el envío a una revista científica indexada, revisada por pares externos.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”

Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
Director
Centro de Investigaciones de Ingeniería
Facultad de Ingeniería, USAC



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación
en Energía

INFORME FINAL
Evaluación de la eficiencia energética y emisiones intradomiciliarias de monóxido de carbono, material particulado 2.5 de las principales estufas ahorradoras de leña fabricadas y distribuidas en Guatemala

Equipo de investigación

Mauricio Valentino Rivera Tello

Nombre de Investigadora

Alejandra María Rebeca Donis Alvarez.

Fecha
Noviembre 2017

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN AVALADORA
Instituciones participantes

M.Sc. Gerardo Arroyo Catalán
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar

Coordinador del Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas

Ing. Qco. Mauricio Valentino Rivera Tello

Coordinador del proyecto

Alejandra María Rebeca Donis Álvarez

Auxiliar de Investigación I

Partida Presupuestaria
4.8.63.4.11
Año de ejecución: 2017

Índice

Índice de ilustraciones	6
Tablas	6
Resumen	7
Palabras clave.....	7
Abstract.....	7
Introducción.....	8
1. Marco teórico y estado del arte	10
1.1 Matriz energética mundial	10
1.2 La leña en la matriz energética de Guatemala	10
1.3 Estufa ahorradora de leña.....	11
1.4 Eficiencia del uso de las estufas ahorradoras de leña	14
1.5 Caracterización de leña para la determinación de su eficiencia energética	14
1.6 Combustión.....	15
1.7 Prueba de ebullición de agua (wbt).....	17
1.8 Pruebas de Emisiones	18
Objetivo general	19
Materiales y métodos.....	19
Tipo de investigación:.....	19
Técnicas e instrumentos:.....	19
Técnica.....	20
Instrumento	21
Muestreo y diseño de muestreo:	22
Operacionalización de las variables o unidades de análisis:.....	24
Procesamiento de datos y plan de análisis:	25
Análisis de las pruebas.....	26
Condiciones de rendimiento energético.....	26
Consumo energético.....	26
Prueba de seguridad	26
Resultados.....	30

Matriz de Resultados.....	43
Impacto esperado	45
Discusión de resultados	46
Conclusiones.....	51
Referencias	53
Apéndice	56
Actividades de gestión, vinculación y divulgación.....	56
Orden de pago	56
Datos de las evaluaciones	57
Figuras.....	65

Índice de ilustraciones

Figura 1	<i>Estufa ahorradora en la Sección de Tecnología de la Madera CII</i>	12
Figura 2	<i>Temperatura de la prueba de ebullición de agua contra tiempo</i>	17
Figura 3	<i>Eficiencia en frío de cada una de las estufas ahorradoras evaluadas.</i>	30
Figura 4	<i>Eficiencia en caliente de cada una de las estufas evaluadas</i>	31
Figura 5	<i>Eficiencia en alta potencia de cada una de las estufas evaluadas</i>	31
Figura 6	<i>Leña seca consumida por cada una de las estufas evaluadas.</i>	34
Figura 7	<i>Monóxido de carbono generado por cada una de las estufas</i>	34
Figura 8	<i>Material Particulado 2.5 generado por cada una de las estufas</i>	35
Figura 9	<i>Punteo de Seguridad de cada estufa ahorradora.</i>	36
Figura 10	<i>Porcentajes de reducción de CO, MP 2.5 y leña consumida de cada estufa ahorradora.</i>	37

Tablas

Tabla. 1	<i>Descripción de la estufas</i>	22
Tabla. 2	<i>Operacionalización de variables</i>	24
Tabla 3	<i>Prueba de seguridad</i>	27
Tabla 4	<i>Rangos de ponderación de nota</i>	27
Tabla 5	<i>Valores de la eficiencia energética.</i>	28
Tabla 6	<i>Valores recomendados de CO y MP2.5 por la Organización Panamericana de la Salud</i>	28
Tabla 7	<i>Análisis del resultado de la prueba de seguridad</i>	29
Tabla 8	<i>Valores de la eficiencia en frío, en caliente y alta potencia</i>	29
Tabla 9	<i>Valores promedio (desviación estándar) obtenidos de la cantidad de leña seca consumida y las emisiones de CO, MP 2.5 de cada estufa evaluada, con su desviación estándar.</i>	32
Tabla 10	<i>Punteo de seguridad que presenta cada estufa ahorradora</i>	35
Tabla 11	<i>Porcentajes de reducción de emisiones intradomiciliarias CO, MP 2.5 y leña consumida.</i>	37
Tabla 12	<i>Comparación de los valores de CO para Guatemala propuestos por la Organización Panamericana de la Salud con los valores obtenidos de cada estufa ahorradora.</i>	38
Tabla 13	<i>Comparación de los valores de MP 2.5 para Guatemala propuestos por la Organización Panamericana de la Salud con los valores obtenidos de cada estufa ahorradora.</i>	39
Tabla 14	<i>Comparación de los valores de la eficiencia energética para Guatemala propuestos por la Organización Panamericana de la Salud con los valores obtenidos de cada estufa ahorradora.</i>	40
Tabla 15	<i>Comparación de los valores de seguridad para Guatemala propuestos por la Organización Panamericana de la Salud con los valores obtenidos de cada estufa ahorradora.</i>	41
Tabla 16	<i>Comparación de los valores de seguridad para Guatemala propuestos por la norma Boliviana NB83001 con los valores obtenidos de cada estufa ahorradora.</i>	42
Tabla 17	<i>Matriz de resultados</i>	43

Evaluación de la eficiencia energética y emisiones intradomiciliarias de monóxido de carbono, material particulado 2.5 de las principales estufas ahorradoras de leña fabricadas y distribuidas en Guatemala

Resumen

La leña es la fuente energética de varias familias en Guatemala, lo que deriva en una oferta de estufas ahorradoras que no tienen datos de su desempeño. Se evaluaron estufas mejoradas, en condiciones de laboratorio de los 15 principales modelos utilizadas y distribuidas en Guatemala con plancha y hornilla por medio de: la eficiencia energética, emisiones intradomiciliarias y seguridad. A través del protocolo internacional para la evaluación de estufas, prueba de ebullición de agua (WBT), en sus tres fases alta potencia de inicio frío, alta potencia de inicio caliente y fuego lento, y la aplicación de estándares regionales (Bolivia y Perú) e internacionales (IWA/ISO). y obtener parámetros para compararlos con los valores de fuego abierto o tres piedras como se conoce en eficiencia y emisiones intradomiciliarias posteriormente se compararon con los valores recomendados para Guatemala por la Organización Panamericana de la Salud y los de la norma Boliviana. Las estufas, Chispa y Cedec insitu 2 obtuvieron los valores más altos de eficiencia con 27.2 y 26% respectivamente. Los porcentajes de reducción de emisiones intradomiciliares fueron mayores al 98%. En la prueba de seguridad 14 estufas tuvieron más del 90 puntos. Los resultados pueden ser utilizados para generar parámetros para escoger una estufa ahorradora en Guatemala.

Palabras clave: Poder calorífico, transferencia de calor, medio ambiente, consumo, salud.

Abstract

Firewood is the energy source of several families in Guatemala, which results in an offer of saving stoves that do not have data on their performance. Improved stoves were evaluated under laboratory conditions of the 15 main models used and distributed in Guatemala with iron and stove by means of: energy efficiency, domestic emissions and safety. Through the international protocol for the evaluation of stoves, water boiling test (WBT), in its three

phases high cold start power, high hot start and slow fire power, and the application of regional standards (Bolivia and Peru) and international (IWA / ISO). and obtain parameters to compare them with the values of open fire or three stones as it is known in efficiency and domestic emissions were subsequently compared with the values recommended for Guatemala by the Pan American Health Organization and those of the Bolivian standard. In this way, it was possible to know the performance parameters of the stoves that are currently being distributed in Guatemala, their energy efficiency, the saving of wood compared with open fire and the emissions of carbon monoxide and particulate matter that they release and when compared with the open fire its percentage of reduction these values can be used to generate parameters to choose a saving stove in Guatemala, we can highlight the values reached by the stoves: Chispa and Cedec insitu 2 with 27.2 and 26 percent respectively efficiency being the stoves with better energy values.

Introducción

Aproximadamente hay 2.5 billones de personas en países en desarrollo que cocina con biomasa que incluye madera, carbón vegetal, hojas de árboles o residuos de cultivos (International Energy Agency, 2010). La leña es la principal fuente de energía para la cocción de alimentos en Guatemala en el área rural lo que genera un déficit de leña, de acuerdo con el balance energético del Ministerio de Energías y Minas (Mem), la leña representa casi el 57% de las fuentes de energía final. Alrededor del 70% de los hogares usa leña para cocinar, el 64% de la población depende la leña como fuente de energía (Instituto Nacional de Bosques, 2015).

Actualmente tanto a nivel mundial como a nivel regional en Latinoamérica se están dando iniciativas para desarrollar normas oficiales con la finalidad de estandarizar el desempeño de estufas mejoradas a leña dentro del mercado de disseminación de las mismas. En este sentido, un paso importante es determinar la eficiencia y emisiones de las estufas ahorradoras producidas y distribuidas en Guatemala bajo protocolos internacionalmente aceptados incluyendo la implementación de un laboratorio de evaluación (Alianza Global para Estufas Limpias, 2014).

Con base en esto, es posible la obtención de datos de línea base que permitan definir estándares de desempeño acordes a la realidad de cada país y en especial, de los diferentes modelos de estufas que se adecúan a las costumbres de cocción locales.

En noviembre de 2013, bajo el compromiso del presidente de Guatemala Otto Pérez Molina, el gobierno presentó su Estrategia Nacional para el Uso Sostenible de la Leña (Estrategia de Leña) con el objetivo general de contribuir a mejorar progresivamente las condiciones de vida de los guatemaltecos a través del uso sustentable de leña (May, 2013). Entre otros, la Estrategia de Leña cuenta con los objetivos de lograr la implementación de 65,000 estufas al año, y la información al 70% de la población sobre el uso sostenible de leña., los departamentos que mayor déficit de leña son Huehuetenango, Quiché y San Marcos y son los lugares con mayor vulnerabilidad alimentaria pobreza y salud (Estrategia nacional de producción sostenible y usos eficientes de leña, 2013-2014).

Lo que genera un problema ya que actualmente las estufas distribuidas en Guatemala no tienen ningún respaldo de laboratorio que garantice que son eficientes, se mantienen dentro del límite de bajas emisiones y son seguras para los guatemaltecos por lo que es necesario caracterizar las estufas que se distribuyen en Guatemala, y al no existir normativo en Guatemala o una referencia de niveles aceptados para las estufas es necesario la utilización de normas internacionales y protocolos que puedan determinar los parámetros que se pretenden evaluar.

Dentro de los objetivos del proyecto estuvo, la determinación de la eficiencia energética de las estufas ahorradoras de leña utilizando el protocolo de ebullición de agua para planchas y hornillas; Cuantificar las emisiones de monóxido de carbono y micro partículas 2.5 de las estufas ahorradoras con planchas y hornillas; Evaluar la seguridad de las estufas ahorradoras de leña y comparar los resultados de eficiencia energética, emisiones y seguridad con los valores recomendados para Guatemala por la Organización Panamericana de la Salud y los valores de la norma boliviana de cocinas ahorradoras.

1. Marco teórico y estado del arte

1.1 Matriz energética mundial

El combustible que ha aumentado su participación en la matriz energética mundial es el gas natural. La participación del carbón mineral, que venía disminuyendo históricamente, en 2004 creció el 1,6%. El petróleo, por su parte, deberá permanecer como la principal fuente de energía mundial hasta que haya restricción de oferta, al alcanzar el pico de producción mundial (Vieira, 2007).

Derivados de petróleo	42.3%
Electricidad	16.2%
Gas natural	16.0%
Energías renovables	13.7%
Carbón mineral	18.4%
Otras	3.5%

Con respecto a la leña la cual entra en la categoría de energía renovable, es una de las fuentes más utilizada, colocándose inmediatamente después del petróleo, el carbón mineral y el gas natural. La leña es el producto de los recursos forestales que más se extrae a nivel mundial, en 1978 el volumen total de leña extraída en todo el mundo representó un 60%, sin incluir los residuos industriales reutilizados en la propia industria para la cogeneración de energía (Montalembert, 1983).

1.2 La leña en la matriz energética de Guatemala

Según los resultados de la publicación (Oferta y Demanda de Leña en la República de Guatemala) llevada a cabo por el Instituto Nacional de Bosques, Universidad Rafael Landívar y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en el 2015, el consumo actual de biomasa con fines energéticos se estimó en 15.8 millones toneladas en base seca, de los cuales 97.8% son con fines domésticos y el 2.53% para uso industrial.

El consumo de leña, el avance de la frontera agrícola y los incendios forestales muy comunes en los meses previos al inicio de las lluvias (enero a mayo) son factores que contribuyen severamente al avance de la deforestación (Fundación Sierra Madre, 2009).

En Guatemala hay 14.7 millones de personas, 51% en áreas rurales. 40% de población indígena con 23 lenguas (idiomas) diferentes y 54% población por debajo de la línea de pobreza, de la cual 13% están en pobreza extrema, y alrededor del 70% de los hogares usan leña para cocinar. La recolección de leña la llevan a cabo tanto hombres como mujeres los hogares consumidores de leña: 2.1 millones. Hogares compradores de leña: 1.3 millones y La existencia de estufas mejoradas y sus beneficios son todavía desconocidos por la mayoría de los hogares. Problemas del uso de la leña para cocinar El déficit anual de leña es de más de 5 millones de toneladas de leña seca equivalente (Alianza Global para Estufas Limpias, 2013).

1.3 Estufa ahorradora de leña

Una estufa mejorada es el equipo para cocinar alimentos, que funciona con leña como combustible principal; está conformado de diferentes piezas organizadas entre sí, que permiten encerrar el fuego para administrarlo de acuerdo a los requerimientos, ubicarlo a diferentes alturas y trasladar los gases de combustión al exterior de la cocina luego de aprovechar al máximo su calor (Peredo & Yadira, 2015).



Figura 1 *Estufa ahorradora en la Sección de Tecnología de la Madera CII*

Fuente. Sección de Tecnología de la Madera

Se han propuesto diversos modelos, formas de operación y beneficios agregados. El grado de aceptación, el impacto sobre la economía familiar, los beneficios ambientales y las repercusiones en la salud de las usuarias; son temas de discusión que generan opiniones encontradas. También lo generan los beneficios financieros obtenidos por parte de las personas e instituciones participantes. De manera general, el desarrollo de la tecnología de las estufas ahorradoras de leña en Guatemala, ha originado dos etapas que coinciden con el apareamiento de modelos tecnológicos innovados, que fueron aceptados y construidos en cantidades relativamente grandes: La estufa Lorena lodo y arena (Cruz et al., 2008). Y es la estufa de Plancha Metálica.

En Guatemala no existe un centro de documentación, que haya colectado la información completa en el momento oportuno. El período histórico de evolución es relativamente grande ya que comprende alrededor de 30 años de actividades dinámicas. La variedad de programas y productos propuestos y obtenidos, han sido múltiples. Los objetivos y las metas de cada actor fueron de múltiple orientación y en la mayoría de los casos, los proyectos cumplieron realizaciones distintas a las que se comprometieron en el diseño original documentado. Los objetivos de los programas de estufas mejoradas fueron

diversos. Los modelos de estufas, se encuentran relacionados de manera directa con la forma de cocinar los dos alimentos que forman la dieta ancestral de los guatemaltecos y se consideran los alimentos básicos: el maíz y el frijol. Ambos se complementan en el suministro de aminoácidos esenciales, para el desarrollo de las funciones vitales haciendo una combinación nutricional exitosa (Alianza Global para Estufas Limpias, 2014).

Más de la mitad de la población de Guatemala vive por debajo de la línea de pobreza, y alrededor del 70% de los hogares usa leña para cocinar. Se estima que la contaminación del aire de los hogares resultó en más de 5,000 de muertes prematuras por año en Guatemala debido al uso ineficiente de leña y biomasa. Además, el déficit anual de leña es equivalente a casi 6 millones anuales de toneladas de madera seca, y la oferta supera a la demanda solamente en tres departamentos (Instituto Nacional de Bosques [Inab], 2012).

La construcción de estufas economizadoras o ahorradoras de leña es de gran importancia en la economía y salud de las comunidades rurales de Guatemala, ya que disminuyen grandemente el uso de leña para preparar los alimentos, evita que el humo provocado por la combustión se disperse dentro de las viviendas, al mejorar la combustión de la leña se puede aprovechar mejor la energía térmica y es necesario conocer la caracterización energética de la estufa para mejorar los diseños y los materiales en la construcción de las estufas (Mir, 2011).

Una de las ventajas que se presentan al utilizar una estufa ahorradora es un aumento en el tiempo de vida de los techos principalmente de lámina, porque evita la degradación por los gases de combustión ya que son conducidos a través de una chimenea hacia el exterior y no son liberados al aire libre dentro de área destinada para la cocción disminuyendo el contacto con ellos (Arche, 2006). Y disminuye la tala de los árboles de acuerdo al porcentaje de ahorro que presenten las estufas en las comunidades rurales y de forma indirecta mejorando la purificación del aire y el medio ambiente en general al disminuir la tala de árboles (Inab, 2012).

1.4 Eficiencia del uso de las estufas ahorradoras de leña

En lo relacionado al medio ambiente el uso de estufas ahorradoras ocasiona un impacto favorable al disminuir la tala de los árboles, puesto que la leña a usar en la cámara de combustión es de un largo de 20 cm y un diámetro no mayor a 4 cm, si comparamos con el tipo de fuego utilizado convencionalmente donde se utiliza leños muchas veces mayores a 1 m y con diámetros que pueden llegar hasta 20 cm. La ventaja fundamental de la estufa mejorada, radica en la eficiencia calorífica, producto de la combustión de la leña, ya que, si su uso es adecuado, la energía se aprovecha más eficientemente (Arche, 2006).

1.5 Caracterización de leña para la determinación de su eficiencia energética

Cuando la madera se va a utilizar directamente como leña es necesario que no produzca al quemarse chispas, humo o gases tóxicos o causar alergias, además debe de poderse secar rápidamente al aire y poseer durabilidad natural para resistir almacenamientos prolongados, en general debería usarse como primera opción especies locales, adaptadas al lugar y de las cuales se conozcan sus características silviculturales, tengan aceptabilidad entre los usuarios y exista disponibilidad de semilla (Ucelo, 2011).

Según el Módulo para el Aprovechamiento de un Bosque Energético y su fuente principal, la Leña, Departamento de pedagogía, la biomasa consiste en tres elementos químicos: hemicelulosa, celulosa, lignina, agua, pequeñas cantidades de resinas y minerales. Según los análisis proximales de madera, la composición de esta es de aproximadamente 50% de C y 45% de O. Son cuatro las variables físicas más importantes: tamaño / forma, densidad / estructura, contenido de humedad y valor calorífico (Tay, 2007).

El tamaño de la leña siempre influenciará el diseño de una estufa, sobre todo de la cámara de combustión. Según el estudio de (Arche, 2006) las estufas con un tiempo de vida mayor a un año ahorran menos leña que las estufas menores a un año, esto se debe al poco o nulo mantenimiento a las estufas más antiguas, de igual forma el decaimiento en la capacidad ahorrativa proviene de factores tales como la modificación de los diámetros de chimenea y una adaptación desfavorable de los ductos que conducen a ella, al igual que la

modificación de las cámaras de combustión las cuales generalmente son ampliadas para incrementar la capacidad interna de leña.

1.6 Combustión

La Combustión es una reacción química de oxidación rápida que va acompañado de la liberación de energía en forma de calor y luz. Para que éste proceso se dé, es necesario la presencia de un combustible, un comburente y calor o chispa. El material que es capaz de arder y combinarse con el oxígeno, se conoce como combustible. En las combustiones ordinarias el combustible es una sustancia compuesta, como hidrocarburos (gas de petróleo, gasolina, kerosene, parafina, etc.), donde la energía almacenada en forma de enlaces químicos es liberada de forma abrupta, existen otros compuestos que pueden llegar a funcionar como combustible tales como el hidrógeno, metales alcalinos, sustancias orgánicas de gran capacidad calórica, el papel y la madera, entre otros. El oxígeno, elemento esencial para que se produzca y continúe el proceso de oxidación, se conoce como comburente (Cartagena, 1994).

El combustible debe alcanzar una temperatura mínima para que pueda arder, ésta temperatura es la denominada punto de ignición o temperatura de inflamación. Los materiales combustibles tienen una temperatura de inflamación baja y entran con facilidad en combustión. Si se quema carbón o azufre en presencia de una cantidad igual de oxígeno, se observará que la energía calórica que desprende el carbón es mayor que la que desprende el azufre. Esto significa que los combustibles, al quemarse, no liberan una cantidad igual de energía térmica.

Como resultado del proceso de combustión, se obtienen una serie de compuestos cuyas estructuras son energéticamente inferiores a su forma original. Estos dependen de la naturaleza del combustible, pero en general se produce vapor de agua, dióxido de carbono y carbón. En la actualidad, los hidrocarburos ocupan en primer lugar entre las fuentes de energía. Las combustiones dependiendo de la velocidad de propagación, se pueden clasificar en varios tipos:

Combustiones lentas:

Las combustiones lentas no producen emisiones de luz, lo cual va asociado a una pobre emisión de calor. Se suelen producir en lugares poco ventilados con escasez de comburente o sobre combustibles muy densos. Se trata de combustiones muy peligrosas ya que al darse en condiciones de poca aireación cuando entra aire nuevo, cargado de comburente, entre a la habitación se produce un aumento súbito de la combustión activando el incendio rápidamente (Arteaga-Pérez, Casas-Ledón, Cabrera-Hernández, & Rodríguez, 2015).

Rápidas:

En las combustiones rápidas se produce una gran emisión de calor y luz con un fuego intenso. Si una combustión es muy rápida se puede producir una explosión. Las explosiones se consideran combustiones instantáneas (Arteaga-Pérez et al., 2015).

Se define el calor específico de combustión como: la cantidad de calor (Q) que cede la unidad de masa del cuerpo al quemarse totalmente. El calor específico de combustión (Cruz-Sandoval et al., 2008). se expresa en unidades de energía (J) por unidades de masa (kg) y depende del tipo de combustible (Tay, 2007).

Cuando un trozo de leña es agregado al fuego, una serie de cambios químicos ocurren, producto de la energía térmica en tránsito. Primero se desprende CO₂ y agua sin presencia de llamas, a medida que la temperatura aumenta, gases de combustión de resinas se involucran en la reacción. A este primer proceso de degradación de madera se le llama pirolisis (Tay, 2007).

Cuando la temperatura supera los 280°C la porción de gases inflamables que emite posee la suficiente energía interna para arder. La combustión únicamente ocurrirá en presencia de oxígeno y a temperaturas superiores al punto de ignición del combustible, la temperatura promedio de ignición de la madera es de 600 °C. Una vez ardiendo, los gases pirolizados se quemarán a temperaturas de 1,100 °C; estas llamas luego proveerán de calor radiante que mantiene y acelera la pirolisis. Las llamas que se observan en un fuego son estos gases quemándose (Tay, 2007).

1.7 Prueba de ebullición de agua (wbt)

El WBT consta de tres fases consecutivas. Estas se discuten a continuación y se muestra gráficamente en la Figura 2. Todo el WBT debe llevarse a cabo al menos tres veces para cada estufa, lo que constituye un conjunto de pruebas WBT. La hoja de cálculo de pruebas para WBT puede albergar resultados de hasta 10 pruebas (Alianza Global para Estufas Limpias, 2016).

Para la fase de alta potencia de inicio frío, el evaluador comienza con la estufa a temperatura ambiente y se utiliza combustible de un paquete previamente pesado para hervir una cantidad medida de agua en una olla estándar. El evaluador luego reemplaza el agua hervida con una nueva olla de agua a temperatura ambiente para realizar la segunda fase. La fase de alta potencia de inicio caliente se lleva a cabo después de la primera fase, mientras la estufa está caliente. Una vez más, el evaluador utiliza combustible de un paquete previamente pesado para hervir una cantidad medida de agua en una olla normal. Al repetir la prueba con una estufa caliente ayuda a identificar las diferencias en el rendimiento entre una estufa cuando esta fría y cuando está caliente. Esto es particularmente importante para las estufas con elevada masa térmica, La fase de hervir a fuego lento proporciona la cantidad de combustible requerido para 5 litros de agua y por debajo del punto de ebullición durante 45 minutos. Este paso simula el tiempo de cocción de las legumbres o leguminosas comunes en gran parte del mundo (Alianza Global para Estufas Limpias, 2016).

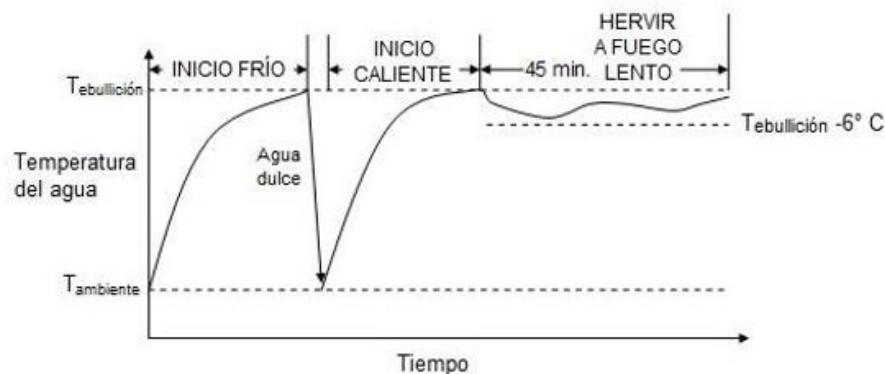


Figura 2 *Temperatura de la prueba de ebullición de agua contra tiempo*

Fuente: protocolo de evaluación 4.2.2.3

1.8 Pruebas de Emisiones

La eficiencia del combustible es un factor principal para los programas de estufas. Ahora sabemos que los contaminantes atmosféricos emitidos por el uso de combustibles sólidos tienen muchas repercusiones sanitarias y medioambientales. Este documento contiene las instrucciones para la medición de los contaminantes emitidos por la estufa durante la cocción, pero estos pasos pueden omitirse para quienes no tienen el equipo necesario. La eficiencia y emisiones deben ser evaluadas con el mismo protocolo, debido a que los cambios en la operación y diseño de la estufa afectan a ambas (Arriaza, 1998).

Mientras que el consumo de combustible es una medida relativamente simple, la determinación de las mediciones de contaminantes es significativamente más complicada. Además de las directrices para la medición de la eficiencia de combustible, el WBT también proporciona directrices para medir los contaminantes y la obtención de medidas de rendimiento de la estufa. Combinando estas mediciones con las mediciones de eficiencia, podemos determinar un parámetro útil: Emisiones por tarea. Las medidas de emisiones del WBT: no son a lo que las personas están expuestas, sino que son los contaminantes que salen de la estufa. Esta es una forma más directa de comparar dos estufas que la concentración en el aire interior. Otras organizaciones han desarrollado protocolos importantes para determinar las exposiciones interiores. Los modelos computacionales también se han desarrollado para estimar las concentraciones de aire en el interior sobre la base de las emisiones de la estufa y otros parámetros (Radulovich, 1994).

Objetivo general

Evaluar la eficiencia energética en el consumo de leña y las emisiones intradomiciliarias de monóxido de carbono, material particulado 2.5 de las principales estufas ahorradoras de leña fabricadas y distribuidas en Guatemala.

Objetivos específicos

1. Determinar la eficiencia energética de las estufas ahorradoras de leña utilizando el protocolo de ebullición de agua.
2. Cuantificar las emisiones de monóxido de carbono y micro partículas 2.5 de las estufas ahorradoras.
3. Evaluar la seguridad de las estufas ahorradoras de leña.
4. Comparar los resultados de eficiencia energética, emisiones y seguridad con los valores recomendados para Guatemala por la Organización Panamericana de la Salud y los valores de la norma boliviana de cocinas ahorradoras.

Materiales y métodos

Tipo de investigación:

La investigación fue de tipo cuantitativo donde se obtuvieron valores de laboratorio experimentales, con el fin es evaluar las estufas ahorradoras y así presentar valores descriptivos de los principales modelos producidos y distribuidos en Guatemala.

Técnicas e instrumentos:

Se realizó la evaluación de cocinas mejoradas, obteniendo el rendimiento energético a través de la prueba de ebullición de agua (objetivo 1), la prueba de emisiones (objetivo 2), la prueba de seguridad (objetivo 3) y para el objetivo 4 se compararon los resultados con los valores sugeridos por la Organización Panamericana de la Salud y la norma NB 83001.

Durante las pruebas preliminares se determinó la cantidad de combustible para hervir 5 L de agua y mantener la ebullición en un tiempo total de 60 min, que es el tiempo de duración de la prueba. También se determinó las dimensiones promedio de la leña que se usaron como combustible, utilizando solo leños con las mismas dimensiones con el objetivo de tener las mismas condiciones en cada pruebas, las dimensiones de cada trozo de leña utilizado fue de 2 x 2 cm por 30 cm de largo, de la especie encino blanco (*Quercus crassifolia*).

Siguiendo el protocolo 4.2.2 de ebullición de agua (Alianza Global para Estufas Limpias, 2014), se pesaron las ollas con la cantidad de agua necesaria, al igual que el material de ignición colocado en la cámara de combustión para el momento del encendido. Asimismo, el lote de combustible para la prueba se pesó y fue ubicado en un ambiente de testeo. Se realizaron 5 réplicas por estufa ahorradora, al haber evaluado 15 estufas se obtuvieron 75 pruebas en total.

Técnica

La prueba de eficiencia energética se realizó una vez por día, durante 5 días consecutivos, colocando los medidores de gas para cuantificar las emisiones. Con respecto al equipo de medición se colocó el medidor de monóxido de carbono a la altura de la puerta de la cámara de combustión de la cocina y a 1.30 m del nivel del piso (la ubicación del equipo de medición de contaminación, se ha determinado teniendo en cuenta el espacio real útil y la estatura promedio de los usuarios de la cocina) y el punto de muestreo del aire interior debe estar a una altura de 1.0 m. La prueba de Prueba de ebullición de agua (Alianza Global para Estufas Limpias, 2016), tienen como principal objetivo evaluar el desempeño térmico de una estufa al calentar agua en tres fases (Mir, 2011).

- Inicio en Frío de Alto Poder
- Inicio en Caliente de Alto Poder
- Fuego Lento

La prueba de eficiencia energética se inició con el encendido de la estufa, se mantuvo el equipo de medición activado durante toda la prueba. Fue importante mantener la llama del fuego lo más constante posible para que el calor entregado a la olla fuera estable y se consideró que una vez que el agua inicie su hervor, se debe mantener hasta la finalización de la prueba (Alianza Global para Estufas Limpias, 2016).

Una vez concluido el tiempo de prueba se apagó la cocina y paralelamente el equipo de medición de monóxido de carbono, registrando la hora exacta de conclusión de la prueba.

Instrumento

Equipo utilizado en la prueba de eficiencia energética: Balanza analítica con una capacidad mayor a 6 kg y precisión de 1 g, termómetro digital, con precisión de 1/10 °C, con termocupla de inmersión en líquidos y termocupla de ambiente, cronómetro, medidor de humedad (6 a 40% con 0,1% de error).

Accesorios: ollas estándar sin tapa de capacidad mayor a 5 L, removedor de cenizas, tenazas para manejar el carbón, contenedor de metal para pesar el combustible y el carbón residual, tamiz para separar la ceniza del carbón restante de un diámetro de malla de 1 mm, equipo de seguridad (guantes, lentes de protección, máscaras y guardapolvos).

Materiales: Agua limpia a temperatura ambiente, suficiente para cada prueba, dos lotes de combustible seco de 3 a 7 kg, para cada prueba, dos lotes de material de ignición, no mayor a 30 g cada uno, encendedor (fósforos y otros).

Lugar donde se harán las pruebas: La prueba se realizará dentro de una campana donde la estufa cave completamente y no tenga interferencia del ambiente y la energía térmica de la madera sea solo utilizada en la plancha, y se colocan los medidores de gases.

Para la prueba de seguridad, se utilizó un termómetro de superficie tipo K con una sensibilidad de 0.5 °C

Muestreo y diseño de muestreo:

La unidad de análisis es la estufa ahorradora con un total de 15 modelos diferentes proporcionados por el Clúster de estufas horadaras de Guatemala, a cada estufa se le realizaron las 3 pruebas eficiencia, emisiones y seguridad con 5 repeticiones por prueba.

A continuación se describen las 15 estufas evaluadas, donde se describe el tipo de cámara y las dimensiones de la estufa, largo (L), ancho (A), alto (H).

Tabla. 1

Descripción de las estufas

Estufa	Descripción	Tipo de cámara	Dimensiones
Balbina	Estufa construida en el lugar con ladrillos contruidos por habitad con plancha de hornillas.	Abierta	A=90 cm, L=140 cm y H=80 cm, con dimensiones de la plancha de 40x80 cm.
Don chomo	Estufa de ladrillos con una baldosa de ladrillo de base de 40 cm cuadrados con plancha peso de 80 libras.	Rocket	A=45 cm, L=45 y H=25 cm.
Ecocina	Estufa redonda tipo rocket con una base variada de metal o de ladrillo construida en el lugar peso de 90 libras.	Rocket	Diámetro de 50 cm L=40 cm.
Energy Multifuncional 2	Eestufa de estructura de metal con un peso de 195 libras.	Rocket	A=73 cm, L=100 y H=60 cm
Cedec Insitu 1	Estufa tradicional construida en el lugar con block y arena volcánica.	Abierta	A=88 cm L=138 cm y H= 65 cm dimensiones de la plancha de 45x91 cm.

Estufa	Descripción	Tipo de cámara	Dimensiones
Cedec Insitu 2	Estufa tradicional construida en el lugar con block y arena volcánica con deflectores en la cámara de combustión para aumentar la convección de los gases en la cámara.	Abierta	A= 88 cm L=138 cm y H= 65 cm dimensiones de la plancha de 45x91 cm.
Aler 2	Estufa con cámara de ladrillo y estructura metálica con un peso de 2016 libras.	Abierta	A=83 cm L= 102 cm y H= 77 cm con dimensiones de la plancha de 40x80 cm.
Chispa	Cámara de concreto con base de metal con un con un peso de 210 libras.	Rocket	A=86 cm L=120 cm y H=78 cm con dimensiones de la plancha de 40x81 cm.
Chomita	Estufa construida de ladrillos con base de ladrillo de 45 cm sin plancha con un peso de 70 libras.	Rocket	A= 43 cm L= 43 cm H=25 cm.
Ecoplancha	Estufa con base de block con cámara de concreto con un con un peso de 385 libras.	Rocket	A=90 cm L=110 cm y H=85 cm con dimensiones de la plancha de 40x81 cm.
Envirofit	Estufa de metal con cámara de metal, con un peso de 81 libras.	Rocket	A=72 cm L=126 cm y H=87 cm, dimensiones de la plancha de 47x63 cm.
Ecostufa	estufa de metal con cámara de metal, con plancha sin hornillas, con un peso de 110 libras	Rocket	A=51 cm L=85 y H=20 cm dimensiones de la plancha 40x61 cm.

Estufa	Descripción	Tipo de cámara	Dimensiones
Hasa	Estufa de metal con cámara de metal y carga lateral de combustible, con un peso de 95 libras	Rocket	A=60 cm L=91 cm y H=81 cm, dimensiones de la plancha de 50x80 cm.
Ecocomal Redonda	Estufa redonda de concreto, con un peso de 100 libras.	Rocket	diámetro de 50 cm L=38 cm y H=40 de base de cm, dimensiones de la plancha de 48 cm de diámetro
Energy Domiciliar 2	Estufa de metal con cámara de ladrillo refractario con un peso de 235 libras.	Abierto	A=83 cm L=120 cm y H=79 cm, dimensiones de la plancha ancho de 45x79 cm.

Operacionalización de las variables o unidades de análisis:

Tabla. 2

Operacionalización de variables

Objetivos	VARIABLES	Técnicas	Instrumentos	Dimensionales	Medición o cualificación
1	temperatura	Medición directa	Termómetro	Intervalo	Grados Celsius
	Masa	Medición directa	Balanza analítica	Razón	gramos
	Eficiencia	Medición indirecta	Balanza , termómetros y cronómetros	Razón	porcentaje
	Poder calorífico	Extracción	calorímetro	Razón	Kilojuls por kilogramo
	Humedad	Medición directa	Balanza analítica Lector ambiental	Razón	Porcentaje
	Densidad	Medición indirecta	Balanza y vernier	Razón	Gramos por centímetro cuadrado
	Volumen	Medición directa	Vernier	Razón	Centímetros cuadrado
2	Tiempo	Medición directa	cronometro	Razón	minutos
	Temperatura de ebullición	Medición directa	Termómetro	Intervalo	Grados Celsius
	Monóxido de carbono	Medición directa	IAP	Razón	Partes por millón
	Material particulado	Medición directa	IAP	Razón	Partes por millón
3	Peso	Medición directa	Balanza	Razón	gramos
	Temperatura	Medición directa	Termómetros digitales y termocuplas	Intervalo	Grados Celsius
	Dimensiones	Medición directa	Metro y vernier	Razón	centímetros
4 y 5	Eficiencia	Medición indirecta	Balanza , termómetros y cronómetros	Razón	porcentaje
	Monóxido de carbono	Medición directa	IAP	Razón	Partes por millón
	Masa de agua evaporada	Medición directa	balanza	Razón	gramos
	tiempo	Medición directa	Cronometro	Razón	minutos
	Material particulado	Medición directa	IAP	Razón	Partes por millón

Procesamiento de datos

Se compararon los valores de la prueba de ebullición de agua de las estufas con el fuego abierto para determinar si existe alguna diferencia en el uso de una estufa ahorradora, Se calcularon el promedio aritmético final utilizando el valor obtenido correspondiente a

cada una de las cinco pruebas. Del mismo modo se calculó la desviación estándar y el coeficiente de variación.

También se realizó un análisis de la comparación con las normas propuestas. Comparando cada valor individual por estufa con las normas y así se determinó si cada una de ellas cumple o no. Con el número de réplicas propuesto de 5 para se pudo realizar una prueba de hipótesis binomial; las 5 repeticiones son por conveniencia en las pruebas,

En la prueba de seguridad se determinó como la suma de los puntajes parciales obtenidos según los numerales 5.1.1 al 5.1.10. El puntaje que se le asigne a la estufa está de acuerdo a las siguientes Tablas:

Tabla 3

Prueba de seguridad

Prueba	Valor obtenido	factor	total
Bordes y zonas agudas		X1.5	
Inclinación de la cocina portátil		X3	
Probabilidad de expulsión de combustible ardiente		X2.5	
Obstrucciones cercanas a la superficie de la cocina		X2	
Temperatura de la superficie de la cocina		X2	
Transmisión de calor a los alrededores		X2.5	
Temperatura de los elementos de operación de la cocina		X2	
Aislamiento térmico de la chimenea		X2.5	
Llantas circundantes a la olla		X3	
Llantas y/o combustible que salen de la cámara de combustión		X4	
	Suma total		

Con la sumatoria de todos los valores obtenidos en las diferentes pruebas de seguridad se obtuvo la evaluación de conformidad de acuerdo al cumplimiento de los indicadores siguientes.

Tabla 4

Rangos de ponderación de nota

Rango global	Suma total
Mejor	$93 \leq S \leq 100$
Bueno	$84 \leq S \leq 92$
Regular	$76 \leq S \leq 83$
Malo	$25 \leq S \leq 75$

Comparación de resultados

Para las comparaciones de eficiencia, emisiones y seguridad se utilizaron los valores sugeridos por la organización panamericana de la salud y los valores de seguridad de la norma boliviana

Tabla 5

Valores de la eficiencia energética.

Niveles	Plazo	Valores recomendados Eficiencia térmica (%)
Nivel 1	31 de diciembre de 2016	> 25
Nivel 2	31 de diciembre de 2018	> 35
Nivel 3	31 de diciembre de 2020	> 45

Para la reducción de emisiones Se tomó como resultado de la prueba la comparación entre el valor obtenido frente a un estándar establecido, las emisiones que produce el fuego abierto. Este resultado será la disminución relativa de la concentración de CO y material particulado de la estufa mejorada

Tabla 6

Valores recomendados de CO y MP2.5 por la Organización Panamericana de la Salud

Niveles	Plazo	Valores recomendados	
		CO (g/min)	MP _{2.5} (mg/min)
Nivel 1	31 de diciembre de 2016	≤ 0,62	≤ 17
Nivel 2	31 de diciembre de 2018	≤ 0,49	≤ 8,0
Nivel 3	31 de diciembre de 2020	≤ 0,42	≤ 0,80

Para el análisis de la prueba de seguridad se compararon con los valores de la norma sugeridos y los de la organización panamericana de la salud y ver en que rango entran los valores de las 15 estufas evaluadas

Tabla 7

Análisis del resultado de la prueba de seguridad

Nivel de seguridad obtenido en la prueba	Valor minio de aceptabilidad	Evaluación de conformidad
Valor total obtenido S	$84 \leq S \leq 100$	Si/No

Tabla 8

Valores de la eficiencia en frío, en caliente y alta potencia

Niveles	Plazo	Valores recomendados
		Punteo de niveles de seguridad
Nivel 1	31 de diciembre de 2016	≥ 88
Nivel 2	31 de diciembre de 2018	≥ 95

Resultados

Eficiencia

A continuación se muestran las gráficas de eficiencia en frío (Figura 3), caliente (Figura 4) y de potencia (Figura 5). La estufa que tuvo la máxima eficiencia fue Chispa, que obtuvo rangos mayores del 25% en todas las pruebas y la estufa con menos eficiencia fue el Fogón Abierto.

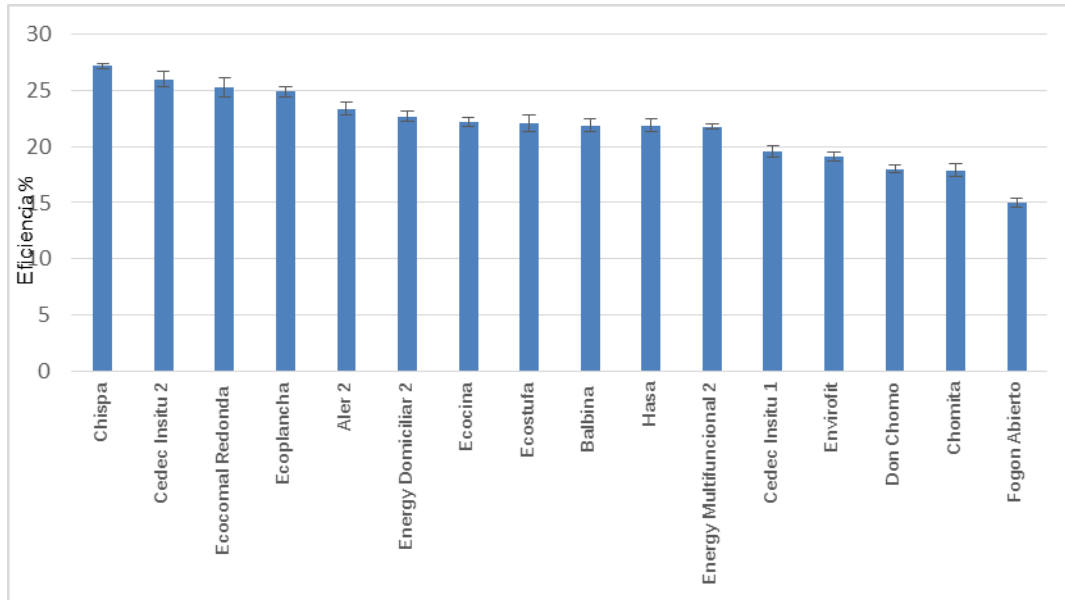


Figura 3 *Eficiencia en frío de cada una de las estufas ahorradoras evaluadas.*

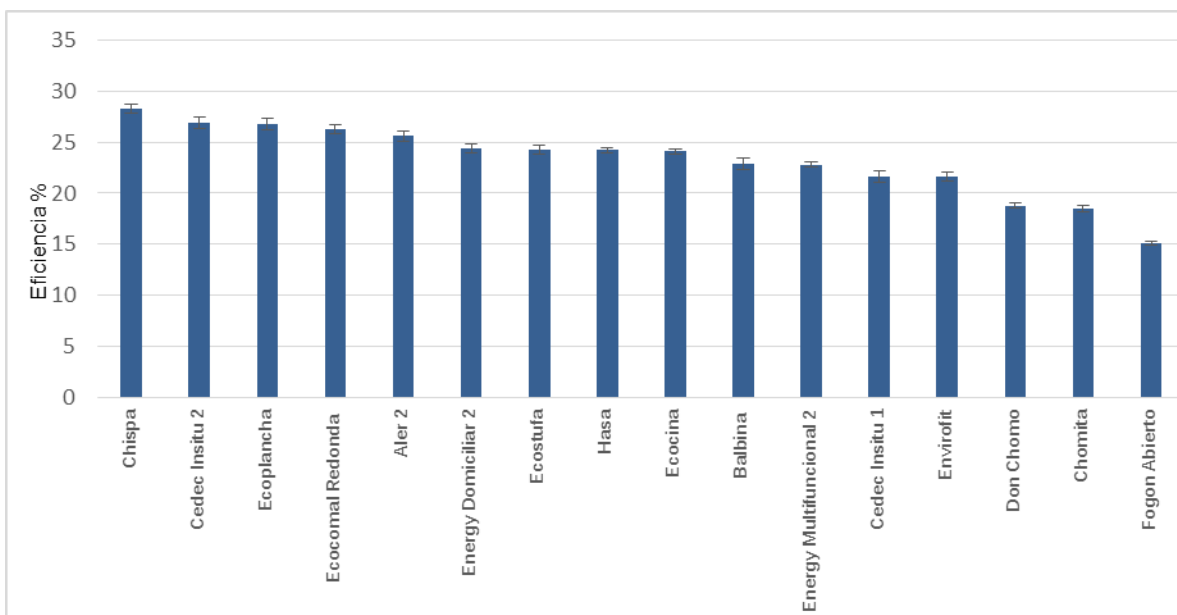


Figura 4 *Eficiencia en caliente de cada una de las estufas evaluadas*

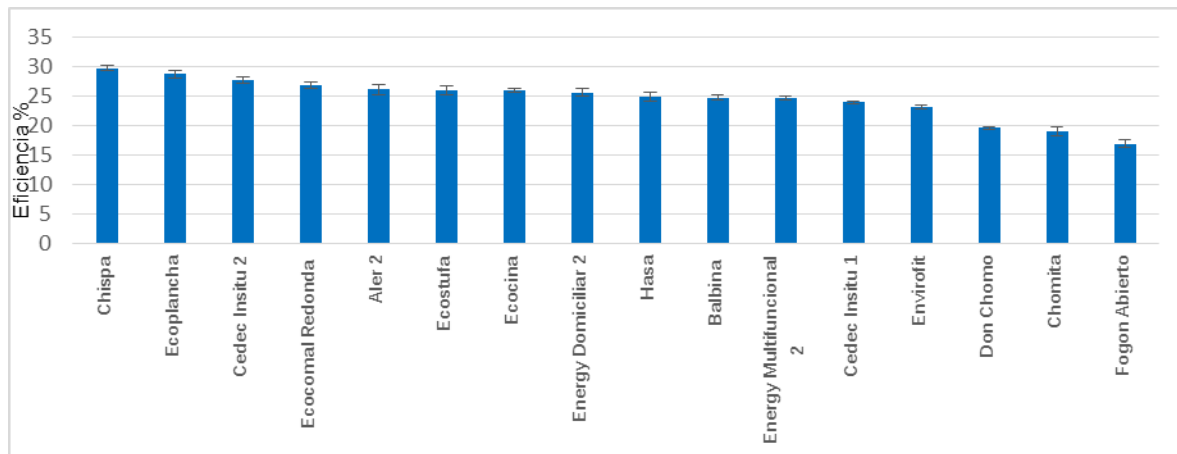


Figura 5 *Eficiencia en alta potencia de cada una de las estufas evaluadas*

Leña seca consumida y emisiones

A continuación, se muestran los valores de leña seca consumida, monóxido de carbono y Material Particulado emitido 2.5, y la desviación estándar de cada parámetro (Tabla 9), la estufa que obtuvo los valores mínimos de consumo fue la Ecoplancha (Figura 6), la estufa con menos emisiones tanto de monóxido de carbono (Figura 7) como de material particulado (Figura 8) fue la chispa.

Tabla 9

Valores promedio (desviación estándar) obtenidos de la cantidad de leña seca consumida y las emisiones de CO, MP 2.5 de cada estufa evaluada, con su desviación estándar.

	Leña seca consumida (gramos)	desviación estándar	monóxido de carbono (g/min)	desviación estándar	MP 2.5 (mg/min)	desviación estándar
Balbina	2154.6	31.73	0.65	0.007	16.2	0.44
Don Chomo	2388.2	94.61	7.1	0.74	156	1.58
Ecocina	1929.8	57.15	4.14	0.21	144.6	0.89
Energy Multifuncional 12	2189.4	85.95	0.84	0.03	18.4	0.89
Cedec Insitu 1	3113.66	215	0.55	0.01	14	0.7
Cedec Insitu 2	2702.7	527.52	0.4	0.2	13.2	1.3
Aler 2	2226.4	162	0.71	0.01	18.4	0.54
Chispa	2565.41	352.67	0.36	0.02	7.4	0.54
Chomita	2803.96	110.05	11	0.7	245.8	14.68
Ecoplancha	1676.72	66.93	0.61	0.01	15	0.7
Envirofit	2153.65	287.99	0.52	0.01	12.2	0.83
Ecostufa	1924.98	367.55	0.59	0.1	14.8	1.3
Hasa	2238.916	421.28	0.54	0.01	14.6	0.89
Ecocomal Redonda	1757.35	139.05	0.59	0.03	15.08	0.73
Energy Domiciliar 2	1876.52	238.6	0.74	0.02	18.6	0.54
Fogon Abierto	3903.23	951.92	35.6	0.96	957.8	11.03

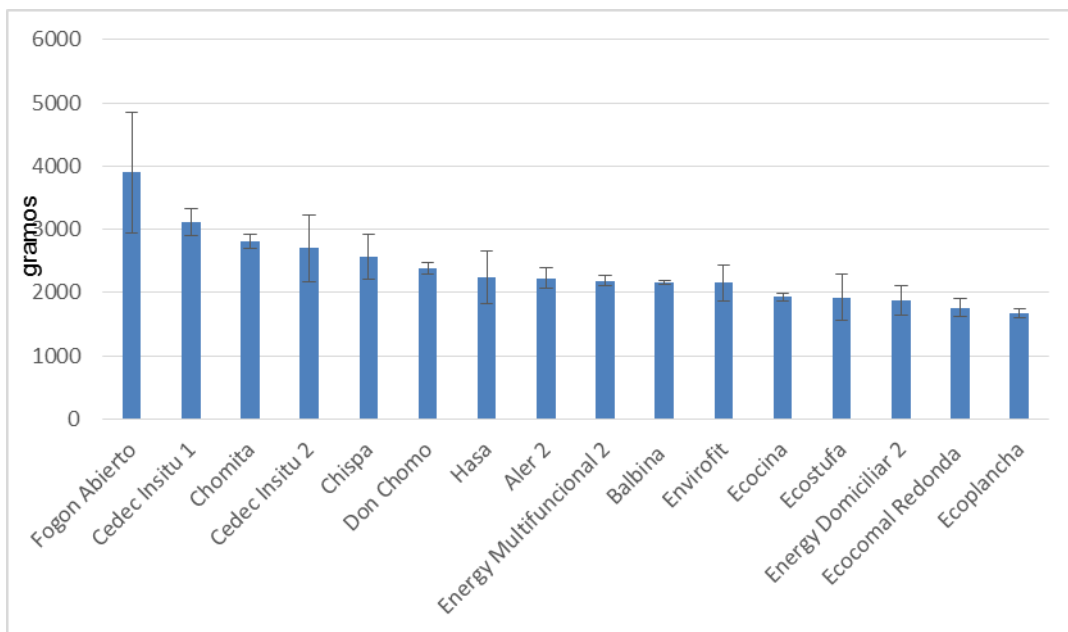


Figura 6 *Leña seca consumida por cada una de las estufas evaluadas.*

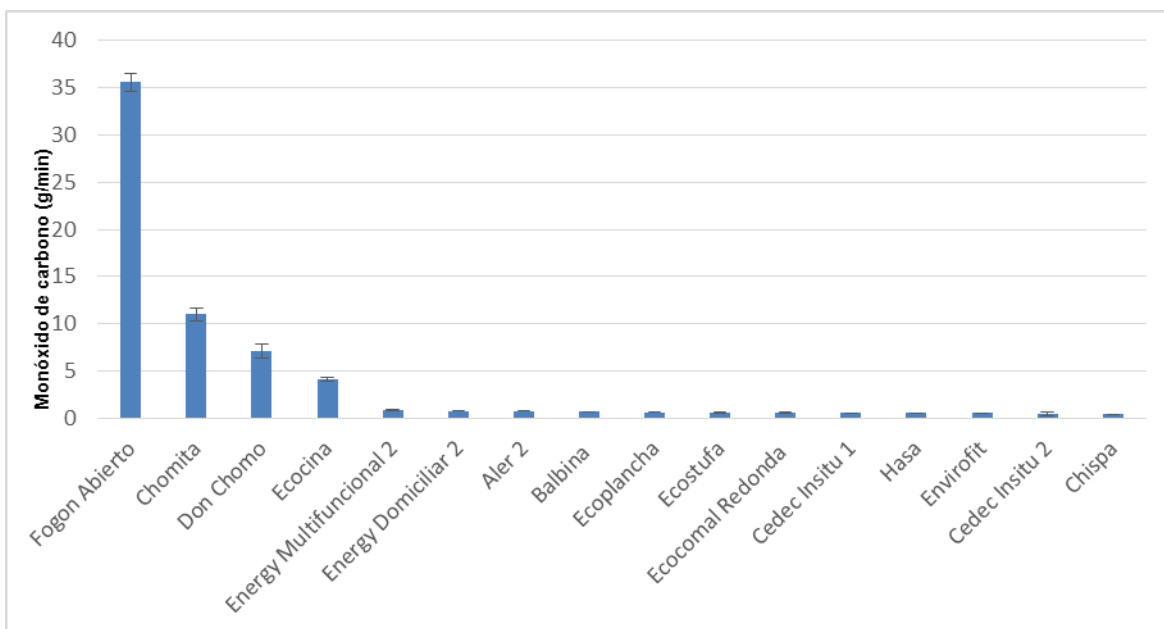


Figura 7 *Monóxido de carbono generado por cada una de las estufas*

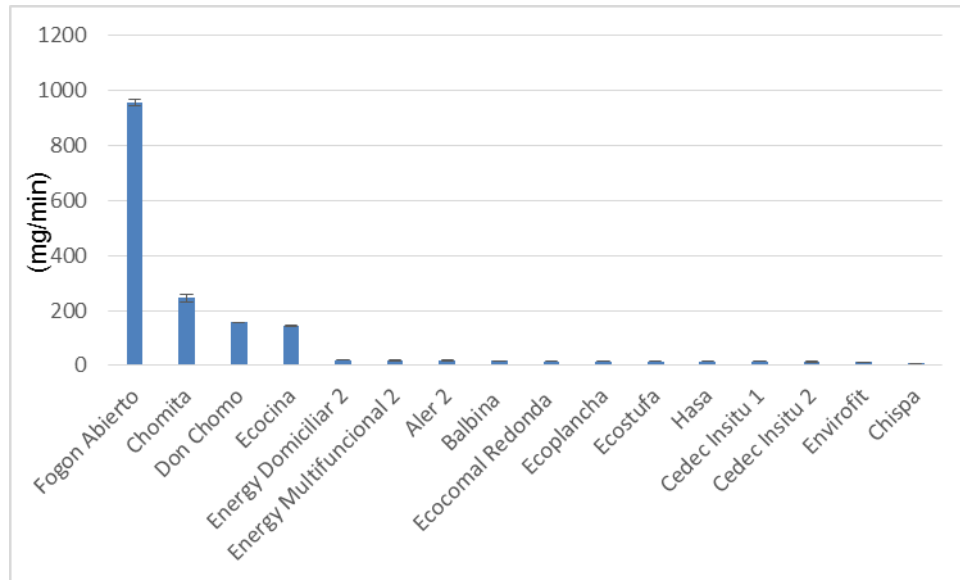


Figura 8 *Material Particulado 2.5 generado por cada una de las estufas*

Seguridad

Los valores de seguridad nos muestran que tan segura es una estufa para los usuarios al momento de utilizarla. Como parte del objetivo tres en esta parte se presentan los valores de seguridad que presenta cada estufa.

Tabla 10

Punteo de seguridad que presenta cada estufa ahorradora

Estufa	Nota
Balbina	93.5
Don Chomo	84.5
Ecocina	85.5
Energy Multifuncional 2	84.5
Cedec Insitu 1	92
Cedec Insitu 2	96
Aler 2	91.5
Chispa	98
Chomita	85
Ecoplancha	93.5
Envirofit	93.5
Ecostufa	89.5
Hasa	94.5
Ecocomal Redonda	97.5
Energy Domiciliar 2	92

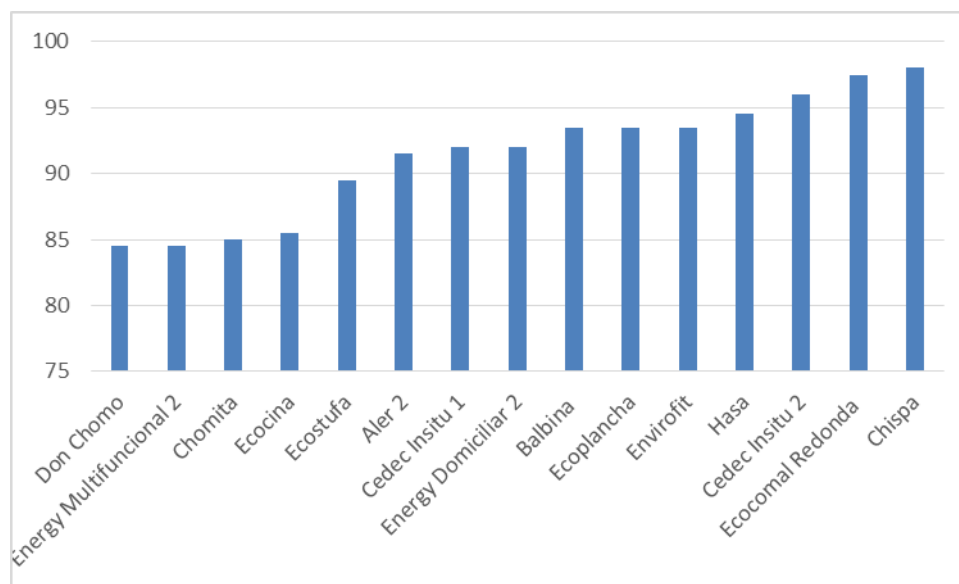


Figura 9 *Punteo de Seguridad de cada estufa ahorradora.*

Comparación de resultados

Se necesita realizar una comparación de los resultados de cada estufa con los del fuego abierto como parte del último objetivo, por lo tanto, se muestra el porcentaje de reducción de CO, MP 2.5 y leña que alcanzó cada una de las estufas evaluadas (Tabla 11), gráficamente se puede establecer que estufas presentan una mejor relación entre los 3 parámetros analizados (Figura 10). También se puede ver el cumplimiento de cada estufa con los requerimientos de los parámetros de: Emisión de CO propuestos por la Organización Panamericana de la Salud para Guatemala (Tabla 12), Emisión de MP 2.5 propuestos por la Organización Panamericana de la Salud para Guatemala (Tabla 13), Eficiencia energética propuesta por la Organización Panamericana de la Salud para Guatemala (Tabla 14), valores de seguridad propuestos para Guatemala por la Organización Panamericana de la Salud (Tabla 15), valores de seguridad propuestos para Guatemala por la norma Boliviana de Estufas Limpias NB83001 (Tabla 16).

Tabla 11

Porcentajes de reducción de emisiones intradomiciliarias CO, MP 2.5 y leña consumida.

	Porcentaje de reducción CO	Porcentaje de reducción MP2,5	Porcentaje de reducción de leña
Balbina	98.17	98.31	44.80
Don Chomo	80.06	83.71	38.81
Ecocina	88.37	84.90	50.56
Energy Multifuncional 2	97.64	98.08	43.91
Cedec Insitu 1	98.46	98.54	20.23
Cedec Insitu 2	98.88	98.62	30.76
Aler 2	98.01	98.08	42.96
Chispa	98.99	99.23	34.27
Chomita	69.10	74.34	28.16
Ecoplancha	98.29	98.43	57.04
Envirofit	98.54	98.73	44.82
Ecostufa	98.34	98.45	50.68
Hasa	98.48	98.48	42.64
Ecocomal Redonda	98.34	98.43	54.98
Energy Domiciliar 2	97.92	98.06	51.92

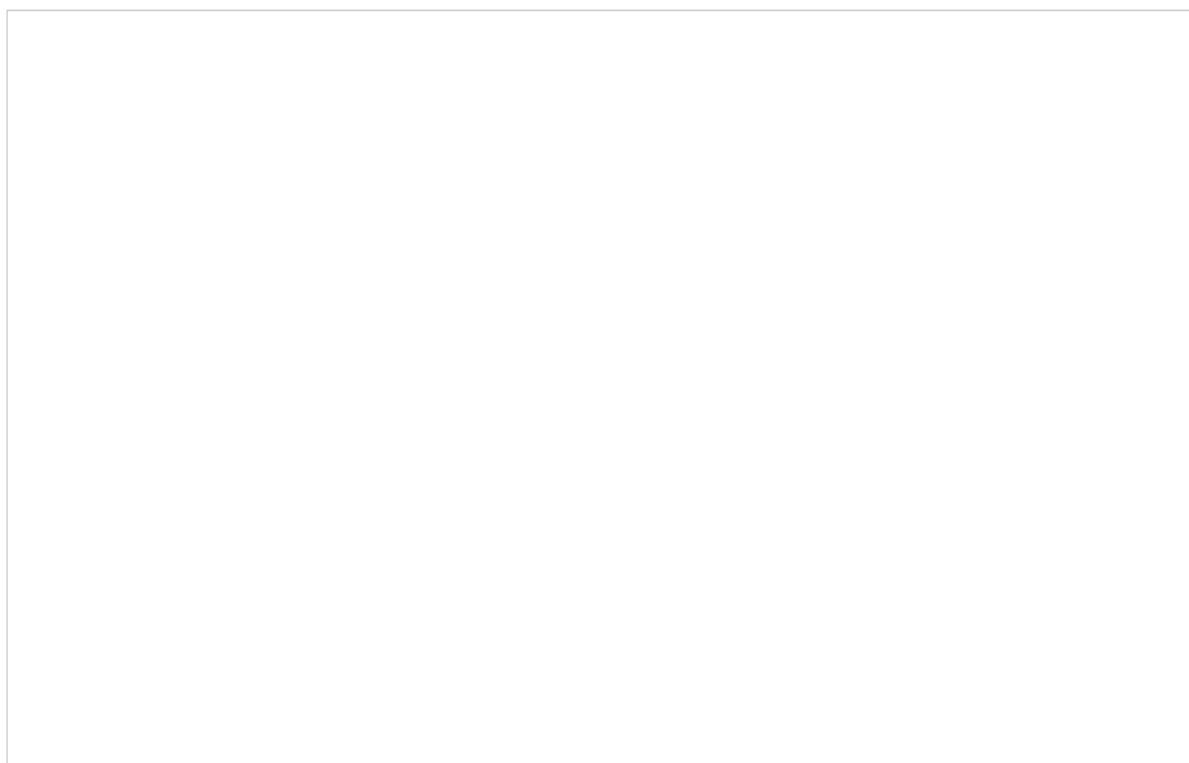


Figura 10 *Porcentajes de reducción de CO, MP 2.5 y leña consumida de cada estufa ahorradora.*

Tabla 12

Comparación de los valores de CO para Guatemala propuestos por la Organización Panamericana de la Salud con los valores obtenidos de cada estufa ahorradora.

	Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
	Si	No	Si	No	Si	No
Hasa	-	Δ	-	Δ	-	Δ
Don Chomo	-	X	-	X	-	X
Ecocina	-	X	-	X	-	X
Energy Multifuncional 2	-	X	-	X	-	X
Cedec Insitu 1	X	-	-	X	-	X
Cedec Insitu 2	X	-	X	-	-	X
Aler 2	-	X	-	X	-	X
Chispa	X	-	X	-	-	X
Chomita	-	X	-	X	-	X
Ecoplancha	X	-	-	X	-	X
Envirofit	X	-	-	X	-	X
Ecostufa	X	-	-	X	-	X
Hasa	X	-	-	X	-	X
Ecocomal Redonda	X	-	-	X	-	X
Energy Domiciliar 2	-	X	-	X	-	X

Tabla 13

Comparación de los valores de MP 2.5 para Guatemala propuestos por la Organización Panamericana de la Salud con los valores obtenidos de cada estufa ahorradora.

	Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
	Si	No	Si	No	Si	No
Balbina	X	-	-	X	-	X
Don Chomo	-	X	-	X	-	X
Ecocina	-	X	-	X	-	X
Energy Multifuncional 2	-	X	-	X	-	X
Cedec Insitu 1	X	-	-	X	-	X
Cedec Insitu 2	X	-	-	X	-	X
Aler 2	-	X	-	X	-	X
Chispa	X	-	-	X	-	X
Chomita	-	X	-	X	-	X
Ecoplancha	X	-	-	X	-	X
Envirofit	X	-	-	X	-	X
Ecostufa	X	-	-	X	-	X
Hasa	X	-	-	X	-	X
Ecocomal Redonda	X	-	-	X	-	X
Energy Domiciliar 2	-	X	-	X	-	X

Tabla 14

Comparación de los valores de la eficiencia energética para Guatemala propuestos por la Organización Panamericana de la Salud con los valores obtenidos de cada estufa ahorradora.

	Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
	Si	No	Si	No	Si	No
Balbina	-	X	-	X	-	X
Don Chomo	-	X	-	X	-	X
Ecocina	X	-	-	X	-	X
Energy Multifuncional 2	-	X	-	X	-	X
Cedec Insitu 1	-	X	-	X	-	X
Cedec Insitu 2	X	-	-	X	-	X
Aler 2	X	-	-	X	-	X
Chispa	X	-	-	X	-	X
Chomita	-	X	-	X	-	X
Ecoplancha	X	-	-	X	-	X
Envirofit	-	X	-	X	-	X
Ecostufa	X	-	-	X	-	X
Hasa	X	-	-	X	-	X
Ecocomal Redonda	X	-	-	X	-	X
Energy Domiciliar 2	X	-	-	X	-	X

Tabla 15

Comparación de los valores de seguridad para Guatemala propuestos por la Organización Panamericana de la Salud con los valores obtenidos de cada estufa ahorradora.

	Nivel 1		Nivel 2	
	Si	No	Si	No
Balbina	X	-	-	X
Don Chomo	-	X	-	X
Ecocina	-	X	-	X
Energy Multifuncional 2	-	X	-	X
Cedec Insitu 1	X	-	-	X
Cedec Insitu 2	X	-	X	-
Aler 2	X	-	-	X
Chispa	X	-	X	-
Chomita	-	X	-	X
Ecoplancha	X	-	-	X
Envirofit	X	-	-	X
Ecostufa	X	-	-	X
Hasa	X	-	-	X
Ecocomal Redonda	X	-	X	-
Energy Domiciliar 2	X	-	-	X

Los valores de la norma boliviana están divididos en tres categorías bueno mejor y un valor mínimo de aceptabilidad debajo del cual la estufa no se encuentra aceptable para su uso.

Tabla 16

Comparación de los valores de seguridad para Guatemala propuestos por la norma Boliviana NB83001 con los valores obtenidos de cada estufa ahorradora.

Estufa	Bueno $84 \leq S \leq 92$	Mejor $93 \leq S \leq 100$	Valor mínimo de aceptabilidad $84 \leq S \leq 100$
Balbina	Si	Si	Si
Don Chomo	Si	No	Si
Ecocina	Si	No	Si
Energy Multifuncional 2	Si	No	Si
Cedec Insitu 1	Si	No	Si
Cedec Insitu 2	Si	Si	Si
Aler 2	Si	No	Si
Chispa	Si	Si	Si
Chomita	Si	No	Si
Ecoplancha	Si	Si	Si
Envirofit	Si	Si	Si
Ecostufa	Si	No	Si
Hasa	Si	Si	Si
Ecocomal Redonda	Si	Si	Si
Energy Domiciliar 2	Si	No	Si

Matriz de Resultados

En esta matriz se presentan los resultados planteados en la propuesta de investigación y los resultados concretos obtenidos en la investigación.

Tabla 17

Matriz de resultados

Objetivo Específico	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
Determinar la eficiencia energética de las estufas ahorradoras de leña utilizando el protocolo de ebullición de agua para planchas	Los valores de eficiencia energética de las estufas ahorradoras en frio, caliente y alta potencia Que los valores de eficiencia energética sean mayores al fuego abierto	Se obtuvieron los valores de las eficiencias energéticas en frio, en caliente y en alta potencia de las principales estufas ahorradoras de leña distribuidas en Guatemala Los valores obtenidos son mayores a la eficiencia del fuego abierto
Cuantificar las emisiones de monóxido de carbono y micro partículas 2.5 de las estufas ahorradoras con planchas y hornillas	Determinar las partes por millo de monóxido de carbonó y el material particulado de 2.5 micrones que emiten las estufas dentro de los hogares, al utilizar leña como combustibles	Los valores de las concentraciones de monóxido de carbono y material particulado que las principales estufas ahorradoras de leña en Guatemala emiten en los ahogares al utilizar la leña como combustible Los valores de las concentraciones de monóxido de carbono y material particulado al utilizar fuego abierto ahogares al utilizar la leña como combustible

Objetivo Específico	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
Evaluar la seguridad de las estufas ahorradoras de leña	Los valores de seguridad que las estufas tienen por medio del protocolo de seguridad, que evalúa diferentes parámetros en las estufas	Valores de seguridad de las principales estufas ahorradoras de leña
Comparar los resultados de eficiencia energética, emisiones y seguridad con los valores recomendados para Guatemala por la Organización Panamericana de la Salud y los valores de la norma boliviana de cocinas ahorradoras.	Que las estufas tengan un valor de eficiencia energética que cumplan con los valores recomendados para Guatemala y que cumplan con los de la norma	<p>De las quince estufas evaluadas nueve cumplen con los valores recomendados para Guatemala en material particulado en el nivel uno y ninguna para el nivel dos</p> <p>De las quince estufas evaluadas nueve cumplen con el valor de eficiencia energética recomendado para Guatemala por la organización panamericana de la salud en el nivel uno y ninguna en los niveles dos y tres. De las quince estufas evaluadas en monóxido de carbono ocho cumplen con el nivel uno sugerido para Guatemala y dos para el nivel dos</p> <p>De las quince estufas evaluadas en la prueba de seguridad once cumplen con el nivel uno sugerido por la organización panamericana de la salud para Guatemala y tres en el nivel dos</p> <p>De las quince estufas evaluadas todas cumplen con la norma Boliviana estando sobre el valor minio de aceptabilidad y las quince estufas están en el nivel de bueno, y siete están en mejor</p>

Impacto esperado

Con los resultados de la caracterización energética de las principales estufas ahorradoras en Guatemala, se cuenta ya con los valores reales del desempeño energético y el ahorro de leña que se puede obtener como máximo al utilizarlas en los hogares de Guatemala; y con ello cuantificar el impacto que pueden tener en los bosques de Guatemala.

Así También de los parámetros de monóxido de carbono y material particulado 2.5 que permitan saber la calidad del aire a la que están expuestas los usuarios al preparar los alimentos diarios, y proveer enfermedades de origen respiratorios asociadas a estos contaminantes en los hogares que utilizan este combustible (Quiroz, 2012) para preparar sus alimentos.

Al conocer los resultados de seguridad de las principales estufas ahorradoras de leña en Guatemala, conocemos que tan seguras son estas estufas al utilizarlas

Con todos los resultados se puede determinar los valores para una norma de estufas ahorradoras de leña en Guatemala, de acuerdo a las necesidades tanto de fabricantes como de usuarios y fortalecer el comité técnico 285 de la ISO para la norma de estufas ahorradoras de leña

Con esta información los entes encargados de realizar los proyectos de estufas como los encargados de desarrollar el Plan de acción nacional de Guatemala para estufas y combustibles limpios tendrán información confiable de cuales estufas son las que cumplen los requerimientos internacionales para la toma de decisiones.

Discusión de resultados

La principal fuente de energía en los hogares guatemaltecos es la leña; La población por necesidad y tradición, utiliza y seguirá utilizando la leña como fuente principal de energía, principalmente en áreas rurales debido a que para las familias más pobres el 80 por ciento del gasto en combustibles se destina a la cocción de alimentos y calefacción de la vivienda. Anualmente se extraen 410.02 millones de metros cúbicos (Inab, 2015) de excedente en los bosques, por tanto, el consumo de leña a nivel nacional no es sostenible.

Cada modelo de estufa ahorradora distribuido a la población guatemalteca, se describe como una estufa que reduce las emisiones y ofrece un ahorro considerable de leña lo que representa un menor gasto para las familias (Alianza Global para Estufas, 2014) pero cada modelo utiliza diferentes materiales y morfología en estructura por lo que cada estufa tiene valores de eficiencia energética diferente, la prueba de WBT es un estándar que nos permite analizar la eficiencia de las estufas y determinar las emisiones de gas que quedan confinadas dentro de cada hogar.

Las estufas ahorradoras ofrecen ciertas ventajas sobre el fuego abierto tanto ambiental como económico y en salud (Soares, 2006) y como tal es necesario conocer los valores exactos de sus características energéticas, para ello se obtuvieron 3 valores de eficiencia en frío, en caliente y alta potencia, la eficiencia energética es el valor o porcentaje de la energía que puede ser utilizada por ella y es la fracción de la energía total suministrada por la leña y la que se puede utilizar para una tarea específica, siendo el resto perdidas al ambiente por los diferentes mecanismos de transferencia de calor (Tay, 2007).

La caracterización energética consistió en la obtención de las distintas eficiencias que presentan las estufas ahorradoras de leña, la eficiencia en frío es la energía que puede utilizarse al partir de la temperatura ambiente o en otras palabras al estar fría, ya sea la estufa o el fuego abierto, esta es relativamente baja ya que al estar a baja temperatura la masa de la estufa absorbe parte de la energía para incrementar su temperatura; los valores

de la eficiencia en frío de las diferentes estufas presentan una gran variación entre ellos teniendo valores altos de 27.2 con la estufa Chispa y valores de mínimos de 17.9 con la estufa Chomita.

En la eficiencia en caliente que es cuando la estufa posee cierto nivel energético y su temperatura es mayor se alcanza un equilibrio térmico con el ambiente lo que reduce las pérdidas de energía, al comparar los resultados de la eficiencia en frío y caliente podemos ver un aumento en la eficiencia energética de todas las estufas, el incremento en la eficiencia varía en cada estufa debido a las diferencias estructurales, el valor más alto lo obtuvo la estufa Chispa con 28.3 y la estufa con un incremento menor en la eficiencia corresponde a la estufa Chomita con 18.5 de eficiencia en caliente.

La eficiencia en alta potencia, es la eficiencia cuando tienen un uso prolongado la estufa y todos los materiales que componen la estufa y la parte que utiliza la energía ya están calientes y todo el sistema está en equilibrio estufa accesorio y ambiente. Los valores más altos los obtuvo la estufa Chispa con un valor promedio de 29.8 y los más bajos los obtuvo Chomita, esto debido a que la estufa Chispa utiliza de una mejor forma la energía y la distribuye de una mejor forma alrededor de toda la plancha y ofrece un buen aislamiento térmico, la Chomita es un codo rocket y no tiene plancha disipando todos los gases calientes de la combustión.

En la Figura 3 se compara todos los valores de eficiencia en frío con sus desviaciones estándares con el fuego abierto, y se puede observar que todas las estufas tienen un de eficiencia mayor que el fuego abierto que es de 15 por ciento y la estufa con un valor más bajo es de 17.9 en eficiencia en frío.

En la Figura 4 se compara todos los valores de eficiencia energética en caliente con sus desviaciones estándares contra el fuego abierto, en esto se puede observar que todas las estufas poseen un valor de eficiencia mayor que el presentado por el fuego abierto el cual es de un 15.1 por ciento y la estufa que presenta un valor inferior corresponde a un 18.5 en eficiencia energética en caliente. Esto debido a la distribución energética en el proceso de

calentamiento, ya que una estufa ahorradora minimiza las dispersiones de energía térmica al ambiente, y concentra la energía térmica en el área dedicada a la cocción de alimentos, lo cual es congruente con la estructura fundamental de toda estufa ahorradora, las cuales por definición deben dirigir la energía a una finalidad en concreto.

En la Figura 3 se comparan todos los valores de eficiencia en alta potencia con su desviaciones estándares contra el fuego abierto, y se puede observar que todas las estufas tienen un valor más alto de eficiencia que el fuego abierto que es de 17 por ciento y la estufa con un valor más bajo es de 19.1 en eficiencia en alta potencia, en esta prueba existen diversas consideraciones para la interpretación de datos, las cuales parten de la estructura morfológica de la estufa ahorradora, la cual no necesita energía térmica para elevar su temperatura hasta su valor final de utilización, por el contrario el fuego abierto presenta una alta dispersión de la energía térmica ya que no posee elementos estructurales suficientes para almacenar cierta parte de la energía previamente liberada.

El fuego abierto, es lo que más se utiliza en el interior de Guatemala y debido a sus características que es solo juntar un poco de leña y prenderle fuego es rápido de utilizar pero presenta una gran pérdida de energía a los alrededores ya que los gases no están confinados y no se utilizan para calentar y se escapan al ambiente contaminando el aire de las personas que cocinan las estufas ahorradoras utilizan estos gases para poder calentar parte de la planchas por lo que sus eficiencias son relativamente más altas.

Leña seca consumida es la masa de leña que se consumió después de quitar la masa de agua que aporta su contenido de humedad, y podemos ver que el fuego abierto consumió 3903.23 gramos de leña y la estufa que más leña consumió fue la Cedec Insitu 1 con un valor de 3113.66 que representa 789.57 gramos menos de leña seca, y la que menos leña seca consumió fue la Ecoplancha con un ahorro de leña seca de 2226.51 gramos.

Como lo podemos ver en la Figura 6 donde se muestra los valores de leña seca consumidos con sus desviaciones estándar todas las estufas tienen valores menores al fuego abierto y la desviación estándar del fuego abierto es de 951.92 gramos es muy alta debido a

que el fuego abierto los gases calientes y la radiación es para todos lados y no está focalizada como en el caso de las estufas, al tener valores menores que el fuego abierto todas las estufas tienen un ahorro de leña seca.

En las Figuras 7 y 8 se muestran las concentraciones de monóxido de carbono y material particulado 2.5, la combustión es una reacción química que se produce con el oxígeno y un material que se oxida en este caso la madera, y que va acompañado de desprendimiento de energía térmica manifestado con llamas incandescentes y gases calientes que contienen diferentes sustancia entre ellas monóxido de carbono y material que no se quemó en diferentes diámetros de partícula los de 2.5 micrones son para nuestros pulmones dañinos causando daños respiratorios. Podemos ver que la concentración más baja la obtuvo la estufa Chispa con un valor de 0.36 gramos por minuto de monóxido de carbono y 7.4 miligramos por minuto y el valor más alto lo obtuvo la estufa Chomita con un valor de 11 gramos por minuto de monóxido de carbono y 245.8; Lo que confirma los valores de eficiencia energética ya que el tener una mejor combustión del material tenemos más energía que puede ser aprovechada por la estufa, y menos contaminantes

En la Tabla 10 tenemos los valores de seguridad de las estufas ahorradoras el valor representa que tan segura es una estufa ahorradora ya que está al utilizar un combustible se calienta y esto puede ocasionar incendios en los ahogares, quemaduras a las personas que la utilizan, el valor más alto lo obtuvo la estufa Chispa con un valor promedio de 98 y la que obtuvo el valor más bajo fue el don Chomo y la Energy multifuncional 2, ambas con un valor de 84.5 en seguridad.

En la Tabla 12 y Figura 10 se presentan los porcentajes de reducción de leña utilizada y emisiones comparada con el fuego abierto, al comparar los resultados de emisiones de CO y material particulado con los que emite el fuego abierto tenemos valores que están más del 98 por ciento de reducción por lo que la estufa ahorradora de leña presenta una gran ventaja con respecto al fuego abierto mejorando la calidad del aire al reducir drásticamente las emisiones al utilizar leña como fuente de energía, teniendo los mejores valores la estufa la estufa Chispa con 99.88 y 99.23 por ciento en CO y material particulado y la menor es la

Chomita con 69.10 y 74.34 por ciento, aunque el porcentaje de la Chomita es menor comparado con las demás estufas el porcentaje de reducción sigue siendo alto. El porcentaje de reducción de leña seca es también alto teniendo ahorros de 57.04 por ciento de leña con la ecoplancha y el valor más bajo lo obtuvo la Chomita con un valor de 28.16 por ciento de ahorro, las estufas ahorradoras de leña presentaron grandes ventajas sobre el fuego abierto al utilizar mejor la combustión de la leña.

En la Tabla número 13 y 14 se muestra la comparación con los valores recomendados por la organización panamericana de la salud para Guatemala en emisiones en tres niveles que deben cumplir las estufas ahorradoras, en monóxido de carbono solo 8 estufas cumplen y dos en el nivel dos y ninguna en el nivel tres; en material particulado nueve cumplen en el nivel uno y ninguna en el nivel dos.

En la Tabla número 15 se presenta los valores de eficiencia energética recomendados por la organización panamericana de la salud para Guatemala, distribuidos en tres niveles, los cuales clasifican a las estufas según su eficiencia energética en función de un estándar internacional, nueve de las estufas cumplen con el nivel uno recomendado, ya que presentan una eficiencia energética mayor al 25%, lo cual implica que al menos 25% de la energía total suministrada por la combustión de leña es empleada para la cocción de alimentos y ninguna de las estufas cumple con los niveles dos y tres, ya que las pruebas realizadas no reflejan una utilización de al menos 35% y/o 45%.

En la Tabla número 16 se muestran la comparación de los valores de seguridad con los recomendados por la organización panamericana de la salud para Guatemala, en dos niveles, en el nivel uno cumplen 11 estufas y en el nivel dos cumplen tres estufas; En la Tabla número 15 tenemos la comparación con los valores de la norma Boliviana y todas las estufas cumplen con el valor de bueno y siete estufas entran en el rango de mejor y todas están sobre el valor mínimo aceptable por la norma.

Conclusiones

- Fueron analizadas 15 estufas ahorradoras y el fuego abierto, para determinar la eficiencia energética mediante un estándar (WBT) con lo cual se obtuvo valores para cada una de ellas los cuales reflejan que tanta energía es empleada en una acción directa como la cocción de alimentos y por consiguiente se pudo determinar cuanta leña (expresada en gramos) es utilizada directamente para dicha tarea, al comparar cada valor real de leña consumida en la cocción contra el fuego abierto, fue posible establecer el ahorro neto de leña que cada estufa posee, de esta forma se determinó que 5 estufas poseen valores de ahorro neto superiores al 50% (Ecoplancha (57.04%), Ecocomal Redonda (54.98%), Energy Domiciliar 2 (51.92%), Ecostufa (50.68%) y Ecococina (50.56%)), 5 de las estufas ahorradoras poseen valores de ahorro neto superiores al 40% (Envirofit (44.82%), Balbina (44.80%), Energy Multifuncional 2 (43.91%), Aler 2 (42.96%), Hasa (42.64%)), 3 de las estufas ahorradoras poseen valores de ahorro neto superiores al 30% (Don Chomo (38.81%), Chispa (34.27%), Cedec Insitu 2 (30.76%)) y 2 de las estufas ahorradoras poseen valores de ahorro neto superiores al 20% (Chomita (28.16%) y Cedec Insitu 1 (20.23%)).
- Se cuantificaron las emisiones de monóxido de carbono y de partículas de 2.5 micras emitidas por las estufas ahorradoras y del fuego abierto, lo cual permitió determinar qué tan libre de gases contaminantes se encuentra un hogar que emplee una estufa ahorradora, los datos analizados permiten decir que las estufas ahorradoras disminuyen la cantidad de gases contaminantes a los cuales se exponen de manera directa las personas, se determinó que 12 de las estufas ahorradoras evaluadas disminuyen la emisión de gases en valores arriba del 90% (Chispa (99.23%), Envirofit (98.73%), Cedec Insitu 2 (98.62%), Cedec Insitu 1 (98.54%), Hasa (98.48%), Ecostufa (98.45%), Ecoplancha (98.43%), Ecocomal Redonda (98.43%), Balbina (98.31%), Energy Multifuncional 2 (98.08%), Aler 2 (98.08%), Energy Domiciliar 2 (98.06%)), y 3 de las estufas poseen porcentajes de disminución arriba del 70% (Ecococina (84.9%), Don Chomo (83.71%), Chomita (74.34%)).
- Se evaluó la seguridad de las estufas ahorradoras empleando los protocolos la norma boliviana de cocinas ahorradoras, para lo cual se evaluaron 10 criterios en cada estufa para dictaminar qué tan segura puede considerarse cada estufa ahorradora, en las

estufas analizadas se determinó que todas las estufas cumplen con el valor recomendado por el protocolo boliviano.

- Empleando el protocolo boliviano para cocinas ahorradoras se determinó que 11 estufas cumplen con los valores del nivel uno de seguridad recomendado por la Organización Panamericana de la Salud y tres estufas cumplen con los parámetros del nivel dos de seguridad recomendado.
- De acuerdo a la Figura número 3 se puede observar que todas las estufas tienen un valor más alto de eficiencia que el fuego abierto, La estufa Cedec Insitu 1 es la que más leña seca consumió y la estufa Ecoplancha es la que menos leña seca consumió comparado con el fuego abierto.
- Todas las estufas tienen un ahorro de leña comparado con el fuego abierto para la misma tarea, obteniéndose un valor máximo de 57.04% (Ecoplancha) y un valor mínimo de 20.23% (Cedec insitu 1)
- Los resultados de la reducción de emisiones de CO y material articulado comparados con los emitidos por el fuego abierto reflejan una disminución de valores que van desde 74.34% (Chomita) hasta un 99.23% (Chispa) por lo cual la estufa ahorradora de leña presenta una gran ventaja con respecto al fuego abierto.
- Ocho estufas cumplen en el nivel 1 con los valores recomendados por la Organización Panamericana de la Salud para Guatemala en monóxido de carbono y dos estufas cumplen en el nivel dos y Ninguna estufa ahorradora de leña cumple con el nivel tres de emisiones de monóxido de carbono.
- Nueve estufas ahorradoras cumplen con los valores recomendados por la Organización Panamericana de la Salud en material particulado en el nivel uno y ninguna estufa ahorradora de leña cumple con el nivel dos de emisiones de material particulado.
- Nueve estufas ahorradoras de leña cumplen con el nivel uno de eficiencia energética recomendado por la Organización Panamericana de la Salud para Guatemala y ninguna estufa ahorradora de leña cumple con el nivel dos de eficiencia energética recomendado por la organización panamericana de la salud.
- Once estufas ahorradoras de leña cumplen con el nivel uno de seguridad recomendado por la Organización Panamericana de la Salud, tres estufas ahorradoras de leña

cumplen con el nivel dos de seguridad recomendado por la Organización Panamericana de la Salud.

- Todas las estufas ahorradoras de leña cumplen con los valores de la norma Boliviana y todas las estufas cumplen con el valor de bueno y siete estufas entran en el rango de mejor y todas están sobre el valor mínimo aceptable por la norma.

Referencias

- Alianza Global para Estufas Limpias. (2013). *Análisis del mercado de estufas y combustibles de Guatemala situación del sector*. Madrid, España: Energía Sin Fronteras, Fundación Solar Universidad Politécnica de Madrid.
- Alianza Global para Estufas Limpias. (2014). *Plan de acción nacional de Guatemala para estufas y combustibles limpios*. Guatemala: Programa Nacional de Competitividad.
- Alianza Global para Estufas Limpias. (2016). Protocolo de ebullición de agua 4.2.2, Recuperado de <http://cleancookstoves.org/binary-data/DOCUMENT/file/000/000/404-1.pdf>
- Arriaza, L. A. (1998). *Estimación del impacto ecológico y económico por el uso de estufas mejoradas en la comunidad de El Jicarito, Departamento de Francisco Morazán, Honduras* (Tesis de licenciatura). Zamorano, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.
- Arche, O. (2006). *Experiencia en la construcción de estufas economizadoras de leña en área rural del país* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de agronomía, Guatemala.
- Arteaga-Pérez, L. E., Casas-Ledón, Y., Cabrera-Hernández, J., & Rodríguez, L. (2015). Gasificación de biomasa para la producción sostenible de energía. Revisión de las tecnologías y barreras para su aplicación. *Afinidad*, 72(570), 138-145.
- Cartagena, M. del C. (1994). La biosfera IV: El árbol muerto como fuente de materias primas. En *Introducción a la Química Industrial* (pp. 527-556). , Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Quiroz, J., & Cantú, C. (2012). *El fogón abierto de tres piedras en la península de Yucatán: Tradición y transferencia tecnológica*. *Revista Pueblos y Fronteras Digital*, 7(13), 270-301.
- Cruz-Sandoval, G., Figueroa-Bautista, P., Villalvazo-López, V. M., & Gerritsen, P. R. (2008). Tecnología apropiada para el quemado de leña: El caso de la estufa Lorena en La Tinaja, municipio de Juchitán, Jalisco. En S. Carvajal & E. Pimienta (Eds.), *Avances en la investigación científica en el CUCBA* (pp. 633-640). Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.

- Fundación Sierra Madre. (2009). *Informe final del estudio de sistematización de estufas ahorradoras de leña en ocho municipios del altiplano occidental de Guatemala*. Recuperado de: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/7165>
- Instituto Nacional de Bosques, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, & Programa Forestal Nacional de Guatemala. (2012). *Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala "Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping"*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Bosques. (2015). *Estrategia nacional de producción sostenible y uso eficiente de leña 2013-2014* (Serie institucional ES-002). Guatemala.
- May, T. (2013). Niveles de consumo de leña y su disminución a través del uso de estufas Lorena mejoradas en comunidades del Suroeste de la República Dominicana. *Sociedad y Ambiente*, 1(2), 29-46.
- Mir, D. (2011). *Diseño, fabricación y evaluación de la eficiencia de una estufa ahorradora de leña en arreguy* (Tesis de maestría). Universidad para la Cooperación Internacional, Honduras.
- Montalembert, M. (1983). *Disponibilidad de leña en los países en desarrollo, Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación*, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.
- Peredo, T., & Yadira, N. (2015). *Propuesta del modelo de estufa ahorradora de leña "Serchi" en las comunidades Rancho Nuevo y El Escobillo, Mpio. de Perote* (Tesis de maestría). Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana, Región Xalapa, Veracruz, México.
- Quiroz, J., & Cantú, C. (2012). *El fogón abierto de tres piedras en la península de Yucatán: Tradición y transferencia tecnológica*. *Revista Pueblos y Fronteras Digital*, 7(13), 270-301.
- Soares, D. (2006). *Género, leña y sostenibilidad: El caso de una comunidad de los Altos de Chiapas: Economía, Sociedad y Territorio*, 6(21), 151-175.
- Radulovich, R. (1994). *Estufas ahorradoras de leña para el hogar rural: Validación y construcción* (Informe técnico, No. 216), Turrialba, Costa Rica: Catie.

- Tay, J. (2007). *Evolución tecnológica de la fabricación de equipos domésticos para combustión de leña como consecuencia del tipo de materiales utilizados* (Tesis de maestría). Escuela de Postgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Ucelo, E. (2011). *Módulo para el aprovechamiento de un bosque energético y su fuente principal, la leña* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Humanidades, Departamento de Pedagogía, Guatemala.
- Vierira, E. (2007). *La matriz energética mundial y la competitividad de las naciones: base de una nueva geopolítica*, departamento de ingeniería de la producción, Universida Federal Fluminense, Brasil.

Apéndice

Actividades de gestión, vinculación y divulgación

Orden de pago

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago	
			SI	NO
Ing. Mauricio Rivera Tello	Coordinador	20141714	X	
Alejandra María Rebeca Donis Álvarez.	Auxiliar de investigación I	2242325840102	X	

Nombre	Firma
Ing. Mauricio Rivera Tello	
Alejandra María Rebeca Donis Álvarez.	

Ing. Mauricio Valentino Rivera Tello

Coordinador del Proyecto de investigación

firma

Ing. Agr. MARN. Julio Rufino Salazar

Coordinador del Programa Universitario

firma

Ing. Agr. MARN. Julio Rufino Salazar

Coordinador General de Programas

firma

Datos de las evaluaciones

Modelo de estufa

Balbina

Basic Operación	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	22	22	22.5	22	21	21.9	0.547722
eficiencia en caliente	%	23	23.5	23	22	23	22.9	0.547722
eficiencia alta potencia	%	25	25	25	25	24	24.8	0.44721
Leña húmeda consumida	g	2,890	3,210	3,100	2,980	3,120	3060	125.4990
Peso de carbón remanente	g	380	370	350	360	365	365	11.18033
Consumo específico de combustible	g/kg	246	250	243	255	240	246.8	5.89067
Potencia	watts	5,891	6,189	6,114	5,980	6,250	6084.8	147.9381
Leña seca consumida	g	2,191	2,177	2,110	2,140	2,155	2154.6	31.73798
monóxido de carbono	g/min	0.65	0.64	0.65	0.66	0.65	0.65	0.00707
material particulado 2.5	mg/min	16	16	17	16	16	16.2	0.44721
Consumo de energía	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	353	431	367	370	385	381	30.0699
Consumo específico de energía	kJ/l	4,321	4,401	4,269	4,289	4,270	4,310	55.0545
Total, de energía consumida	kJ	37,465	37,096	35,948	36,590	36,500	36,720	582.5986

Modelo de estufa

Don Chomo

Basic Operación	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	18	18	18.5	17.5	18	18	0.35355
eficiencia en caliente	%	19	19	18.5	19	18.5	18.8	0.27386
eficiencia alta potencia	%	19.5	20	19.5	20	19.5	19.7	0.27386
Leña húmeda consumida	g	3,150	3,370	3,420	3,220	3,340	3300	111.5795
Peso de carbón remanente	g	300	300	350	320	325	319	20.73644
Consumo específico de combustible	g/kg	264	287	298	275	265	277.8	14.61848
Potencia	watts	4,627	4,968	4,484	4,560	4,740	4675.8	188.4680
Leña seca consumida	g	2,243	2,485	2,423	2,350	2,440	2388.2	94.6134
monóxido de carbono	g/min	6	7	7	8	8	7.1	0.741619
material particulado 2.5	mg/min	156	154	158	155	157	156	1.581138
Consumo de energía	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	278	298	269	274	285	281	11.25610
Consumo específico de energía	kJ/l	4,649	5,056	5,251	5,125	5,090	5,034	227.6042
Total, de energía consumida	kJ	38,308	42,624	41,429	40,150	40,270	40,556	1607.707

Modelo de estufa

Ecocina

Basic Operación	unidade s	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	22	22	23	22	22	22.2	0.44721
eficiencia en caliente	%	24	24.5	24	24	24	24.1	0.22360
eficiencia alta potencia	%	26	26	26	25.5	26.5	26	0.35355
Leña húmeda consumida	g	2,630	2,790	2,880	2,740	2,690	2746	95.55103
Peso de carbón remanente	g	260	270	280	275	285	274	9.617692
Consumo especifico de combustible	g/kg	216	234	226	230	229	227	6.78232
Potencia	watts	3,776	4,477	3,786	3,850	3,950	3967.8	292.9662
Leña seca consumida	g	1,872	2,009	1,876	1,950	1,942	1929.8	57.15067
monóxido de carbono	g/min	4	5	4	4	4	4.14	0.219089
material particulado 2.5	mg/min	144	145	144	146	144	144.6	0.894427
Consumo de energía	unidade s	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	203	269	227	235	344	256	54.77955
Consumo especifico de energía	kJ/l	3,801	4,123	3,974	3,946	4,079	3,985	125.8741
Total, de energía consumida	kJ	32,002	34,385	32,027	32,150	32,240	32,561	1024.277

Modelo de estufa

Energy multifuncional 2

Basic Operación	unidade s	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	22	22	21.5	21.5	22	21.8	0.273861
eficiencia en caliente	%	23	22.5	23	22.5	23	22.8	0.273861
eficiencia alta potencia	%	24.5	25	24.5	25	25	24.8	0.273861
Leña húmeda consumida	g	3,050	3,070	3,010	3,065	3,040	3047	23.87467
Peso de carbón remanente	g	350	230	300	270	320	294	46.15192
Consumo especifico de combustible	g/kg	272	304	318	315	290	299.8	19.03155
Potencia	watts	7,002	7,527	7,616	7,250	7,364	7351.8	241.5413
Leña seca consumida	g	2,113	2,295	2,139	2,130	2,270	2189.4	85.95522
monóxido de carbono	g/min	0.8	0.87	0.88	0.8	0.85	0.84	0.038078
material particulado 2.5	mg/min	19	19	18	19	17	18.4	0.894427
Consumo de energía	unidade s	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	420	452	457	435	440	441	14.61848
Consumo especifico de energía	kJ/l	4,786	5,346	5,596	5,247	5,170	5,229	295.1406
Total, de energía consumida	kJ	36,133	39,290	36,558	37,900	38,708	37,718	1354.827

Modelo de estufa

Cedec in situ 1

Basic Operación	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	20	20	19	20	19	19.6	0.547722
eficiencia en caliente	%	22	21	22	22	21	21.6	0.547722
eficiencia alta potencia	%	24	24	24	25	24	24.1	0.2236068
Leña húmeda consumida	g	4,220	4,000	4,220	4,156	4,150	4149.2	89.90661
Peso de carbón remanente	g	400	500	480	420	487	457.4	44.4274
Consumo específico de combustible	g/kg	341	344	399	400	354	367.649	29.49234
Potencia	watts	7,559	9,208	9,396	9,150	9,096	8881.765	748.1321
Leña seca consumida	g	3,093	2,770	3,336	3,124	3,246	3113.66	215.3583
monóxido de carbono	g/min	0.55	0.55	0.54	0.57	0.55	0.552	0.010954
material particulado 2.5	mg/min	14	13	14	15	14	1	0.707106
Consumo de energía	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	454	552	564	492	510	514	45.03486
Consumo específico de energía	kJ/l	5,996	6,060	7,021	6,520	6,470	6,413	413.1431
Total de energía consumida	kJ	53,063	57,460	57,502	54,640	55,790	55,691	1899.455

Modelo de estufa

Cedec in situ

Basic Operación	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	26	25	26	27	26	26	0.707106
eficiencia en caliente	%	27	26	27	27.5	27	26.9	0.547722
eficiencia alta potencia	%	27	28	28	28	29	27.9	0.547722
Leña húmeda consumida	g	3,280	3,500	3,150	3,457	3,340	3345.4	140.3951
Peso de carbón remanente	g	290	340	230	255	279	278.8	41.28801
Consumo específico de combustible	g/kg	276	304	307	300	310	299.498934	13.4885
Potencia	watts	8,008	7,357	7,061	7,400	7,600	7485.43149	350.0124
Leña seca consumida	g	2,435	2,570	2,459	3,640	2,410	2702.7	527.5203
monóxido de carbono	g/min	0.4	0.44	0.4	0.4	0.38	0.404	0.02199
material particulado 2.5	mg/min	14	11	14	13	14	13.2	1.30384
Consumo de energía	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	480	441	424	460	475	456	23.62897
Consumo específico de energía	kJ/l	4,861	5,357	5,397	5,213	5,146	5,195	213.0911
Total de energía consumida	kJ	41,803	44,145	42,368	43,901	44,090	43,261	1095.313

Modelo de estufa

Aler 2

Basic Operación	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	24	23	23	24	23	23.4	0.547722
eficiencia en caliente	%	26	26	25	25	26	25.6	0.54772
eficiencia alta potencia	%	27	26	27	25	26	26.2	0.836660
Leña húmeda consumida	g	3,040	2,660	3,560	2,874	2,985	3023.8	333.1924
Peso de carbón remanente	g	220	270	340	254	267	270.2	43.77442
Consumo específico de combustible	g/kg	242	292	289	301	287	282.3682	23.0177
Potencia	watts	9,304	8,297	7,147	8,246	8,015	8201.800	770.0155
Leña seca consumida	g	2,117	2,016	2,409	2,240	2,350	2226.4	162.202
monóxido de carbono	g/min	0.7	0.72	0.72	0.73	0.71	0.716	0.01140
material particulado 2.5	mg/min	18	19	18	19	18	18.4	0.54772
Consumo de energía	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	558	498	429	475	476	487	46.9999
Consumo específico de energía	kJ/l	4,263	5,140	5,092	5,040	4,875	4,882	360.1034
Total de energía consumida	kJ	35,726	34,848	40,740	39,450	37,450	37,643	2468.841

Modelo de estufa

Chispa

Basic Operación	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	27	27.5	27	27.5	27	27.2	0.273861
eficiencia en caliente	%	28	29	28	28	28.5	28.3	0.44721
eficiencia alta potencia	%	30	30	29	30	30	29.8	0.447213
Leña húmeda consumida	g	2,210	3,880	2,690	2,340	2,450	2714	675.2258
Peso de carbón remanente	g	140	120	160	150	160	146	16.73320
Consumo específico de combustible	g/kg	196	362	246	278	234	263.0794	62.47643
Potencia	watts	8,974	8,188	7,290	7,813	7,645	7981.944	641.8385
Leña seca consumida	g	2,523	3,005	2,048	2,510	2,741	2565.411	352.6734
monóxido de carbono	g/min	0.38	0.35	0.4	0.34	0.33	0.36	0.029154
material particulado 2.5	mg/min	8	7	8	7	7	7.4	0.547722
Consumo de energía	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	437	491	437	428	456	450	25.2587004
Consumo específico de energía	kJ/l	6,442	6,363	4,331	5,780	5,910	5,765	850.669365
Total de energía consumida	kJ	34,521	31,780	34,991	34,320	31,254	33,373	1721.90375

Modelo de estufa

Chomita

Basic Operación	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	18	18.5	18	17	18	17.9	0.547722
eficiencia en caliente	%	18	18.5	18.5	18.5	19	18.5	0.35355
eficiencia alta potencia	%	19	20	20	18	19	19.1	0.741619
Leña húmeda consumida	g	4,330	3,770	3,880	3,952	3,952	3976.8	211.0194
Peso de carbón remanente	g	390	220	290	320	345	313	63.60031
Consumo específico de combustible	g/kg	379	372	340	350	364	360.798	15.92468
Potencia	watts	9,189	8,432	10,799	9,875	9,465	9552.023	873.3614
Leña seca consumida	g	2,966	2,722	2,688	2,850	2,794	2803.963	110.0548
monóxido de carbono	g/min	11	10	11	12	11	11	0.70710
material particulado 2.5	mg/min	250	245	265	245	224	245.8	14.6867
Consumo de energía	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	551	506	648	597	549	570	54.0636
Consumo específico de energía	kJ/l	6,663	6,540	5,976	6,165	6,371	6,343	277.811
Total de energía consumida	kJ	50,173	46,041	45,354	45,120	47,852	46,908	2116.173

Modelo de estufa

Ecoplancha

Basic Operación	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	25	24.5	25	25.5	24.5	24.9	0.41833
eficiencia en caliente	%	27	27	27.5	26	26.5	26.8	0.57008
eficiencia alta potencia	%	29.5	28	28.5	29	29	28.8	0.57008
Leña húmeda consumida	g	2,060	2,470	2,440	2,345	2,450	2353	170.719
Peso de carbón remanente	g	190	200	160	185	190	185	15
Consumo específico de combustible	g/kg	233	209	205	215	222	216.705	11.3128
Potencia	watts	5,503	6,580	7,032	6,945	6,754	6562.7564	617.571
Leña seca consumida	g	1,569	1,725	1,724	1,654	1,711	1676.72	66.9309
monóxido de carbono	g/min	0.61	0.6	0.61	0.63	0.64	0.618	0.01643
material particulado 2.5	mg/min	15	14	15	15	16	15	0.70710
Consumo de energía	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	330	395	422	399	411	391	35.8131
Consumo específico de energía	kJ/l	4,102	3,675	3,599	3,785	3,975	3,827	209.131
Total de energía consumida	kJ	27,076	29,214	29,112	28,741	29,105	28,650	897.714

Modelo de estufa		Envirofit						
Basic Operación	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	19	19.5	19	19.5	18.5	19.1	0.41833
eficiencia en caliente	%	21	22	21.5	22	21.5	21.6	0.41833
eficiencia alta potencia	%	23	24	23	24	23	23.2	0.27386
Leña húmeda consumida	g	2,890	2,560	1,660	2,450	2,350	2382	451.851
Peso de carbón remanente	g	270	270	220	265	245	254	21.6217
Consumo específico de combustible	g/kg	275	271	177	285	241	249.975	43.7783
Potencia	watts	4,797	8,667	3,630	4,950	5,105	5429.757	1900.981
Leña seca consumida	g	2,268	1,848	1,848	2,340	2,465	2153.65	287.9924
monóxido de carbono	g/min	0.54	0.53	0.51	0.52	0.5	0.52	0.01581
material particulado 2.5	mg/min	13	12	11	13	12	12.2	0.83666
Consumo de energía	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	288	520	218	297	320	329	113.6375
Consumo específico de energía	kJ/l	4,845	4,770	3,121	3,452	3,741	3,986	781.9589
Total de energía consumida	kJ	38,568	31,721	34,854	32,456	34,789	34,478	2676.510

Modelo de estufa		Ecostufa						
Basic Operación	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	22.5	22	21	22	23	22.1	0.74161
eficiencia en caliente	%	24	24.5	24	25	24	24.3	0.4472
eficiencia alta potencia	%	26	27	26	27	25	26.1	0.74119
Leña húmeda consumida	g	2,030	3,630	2,240	2,454	2,375	2545.8	627.02
Peso de carbón remanente	g	200	300	140	245	230	223	58.906
Consumo específico de combustible	g/kg	220	334	197	245	260	251.302	52.378
Potencia	watts	4,465	6,517	5,904	4,895	4,567	5269.58	899.964
Leña seca consumida	g	1,637	2,530	1,629	1,875	1,954	1924.98	367.557
monóxido de carbono	g/min	0.59	0.61	0.6	0.58	0.59	0.594	0.0114
material particulado 2.5	mg/min	14	15	14	17	14	14.8	1.3038
Consumo de energía	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	208	451	354	345	297	331	88.6628
Consumo específico de energía	kJ/l	3,875	5,885	3,462	3,845	3,945	4,203	959.352
Total de energía consumida	kJ	27,861	32,845	27,630	29,451	27,845	29,126	2203.1

Modelo de estufa

Hasa

Basic Operación	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	22	22.5	21	22	22	21.9	0.54772
eficiencia en caliente	%	24	24.5	24	24	24.5	24.2	0.27386
eficiencia alta potencia	%	25	26	24	25	25	25	0.70710
Leña húmeda consumida	g	3,660	2,050	3,270	3,150	2,345	2895	672.1978
Peso de carbón remanente	g	300	120	240	275	264	239.8	70.3576
Consumo específico de combustible	g/kg	349	199	285	294	301	285.664	54.53401
Potencia	watts	5,381	4,382	7,295	5,274	5,878	5642.075	1070.204
Leña seca consumida	g	2,555	1,503	2,325	2,354	2,458	2238.916	421.2823
monóxido de carbono	g/min	0.55	0.54	0.56	0.55	0.54	0.548	0.008366
material particulado 2.5	mg/min	14	15	14	16	14	14.6	0.894427
Consumo de energía	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	323	263	438	318	345	337	63.7582
Consumo específico de energía	kJ/l	6,146	3,498	5,019	5,324	5,845	5,166	1030.705
Total de energía consumida	kJ	43,266	35,501	39,395	42,154	41,574	40,378	3068.96673

Modelo de estufa

Ecocomal redonda

Basic Operación	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	25.5	26	24	26	25	25.3	0.83666
eficiencia en caliente	%	26	27	26	26.5	26	26.3	0.4472
eficiencia alta potencia	%	26	27	27	28	27	26.9	0.54772
Leña húmeda consumida	g	3,070	2,550	2,330	2,943	2,478	2674.2	316.743
Peso de carbón remanente	g	300	260	320	276	281	287.4	23.1473
Consumo específico de combustible	g/kg	221	241	200	246	211	223.76	19.7367
Potencia	watts	8,204	7,868	7,119	7,451	7,945	7717.518	430.059
Leña seca consumida	g	1,822	1,704	1,570	1,945	1,746	1757.35	139.050
monóxido de carbono	g/min	0.61	0.64	0.59	0.54	0.6	0.596	0.03646
material particulado 2.5	mg/min	15	15	14	15	16	15.08	0.72938
Consumo de energía	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	492	472	427	475	415	456	33.3355
Consumo específico de energía	kJ/l	3,884	4,248	3,513	3,758	3,491	3,779	310.1141
Total de energía consumida	kJ	30,026	28,799	26,911	27,845	28,456	28,407	1154.299

Modelo de estufa

Energy domiciliario 2

Basic Operación	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	23	22.5	23	22	23	22.7	0.44721
eficiencia en caliente	%	25	24.5	24	24.5	24	24.4	0.41833
eficiencia alta potencia	%	26	25	27	26	25	25.7	0.670820
Leña húmeda consumida	g	1,910	2,630	2,760	2,245	2,413	2391.6	334.081
Peso de carbón remanente	g	160	190	310	240	190	218	58.90670
Consumo específico de combustible	g/kg	191	309	243	287	234	252.895	46.0984
Potencia	watts	7,337	7,794	7,076	7,154	7,454	7362.906	283.2351
Leña seca consumida	g	1,479	2,085	2,019	1,850	1,950	1876.526	238.6079
monóxido de carbono	g/min	0.7	0.77	0.74	0.77	0.74	0.744	0.028809
material particulado 2.5	mg/min	19	18	19	18	19	18.6	0.54772
Consumo de energía	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	440	468	425	415	421	434	21.1478
Consumo específico de energía	kJ/l	3,368	5,431	4,282	4,875		4,489	882.3442
Total de energía consumida	kJ	35,945	36,009	34,814	34,546	38,451	35,953	1542.814

Modelo de estufa

Fogon abierto

Basic Operación	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Eficiencia en Frio	%	15	14.5	15.5	15	15	15	0.35355
eficiencia en caliente	%	15	15	15.5	15	15	15.1	0.22360
eficiencia alta potencia	%	17	18	17	17	16	17	0.70710
Leña húmeda consumida	g	5,180	4,270	6,710	5,472	5,475	5421.4	873.200
Peso de carbón remanente	g	360	560	410	415	412	431.4	75.3976
Consumo específico de combustible	g/kg	497	398	695	545	495	525.9914	108.7537
Potencia	watts	12,862	8,510	17,058	13,458	14,785	13334.66	3141.5687
Leña seca consumida	g	3,728	2,666	5,091	3,456	4,575	3903.234	951.9286
monóxido de carbono	g/min	34.5	35	36	36	37	35.6	0.96176
material particulado 2.5	mg/min	960	955	945	975	954	957.8	11.03177
Consumo de energía	unidades	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	promedio	desviación
Energía Consumida por minuto	kJ/min	772	511	1,023	875	758	788	187.828
Consumo específico de energía	kJ/l	8,741	6,999	12,236	7,545	8,545	8,813	2042.586
Total de energía consumida	kJ	63,283	44,934	86,994	57,451	59,754	62,483	15347.455

Figuras



Piezas de encino para combustible



Lote de combustible para WBT



Modelo de estufa Chispa



Modelo de estufa Envirofit



Modelo de estufa Energy



Estufa in situ Chapina Bonita



Control de la llama para que sea constante



Diseño interno de estufa Ecocomal Redonda



Control de temperatura en WBT



Modelo de estufa Ecocina



Prueba WBT en Fotón abierto



Combustión de encino



Ubicación del equipo de medición de gases



Medición temperatura de ebullición



Termocupla para medición de temperatura de superficie.



Medidor de emisiones CO y MP 2.5