

**Fabricación y evaluación de estufa mejorada  
de plancha 16” x 24”, con cámara de  
combustión microgasificadora (T-LUD), para  
comparación con codo rocket**

**Fernando Enrique Támara Suárez**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2012

ZAMORANO  
DEPARTAMENTO DE AMBIENTE Y DESARROLLO

# **Fabricación y evaluación de estufa mejorada de plancha 16” x 24”, con cámara de combustión microgasificadora (T-LUD), para comparación con codo rocket**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y de Ambiente en el Grado  
Académico de Licenciatura

Presentado por:

**Fernando Enrique Támara Suárez**

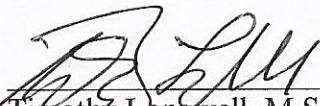
**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2012

# Fabricación y evaluación de estufa mejorada de plancha 16” x 24”, con cámara de combustión microgasificadora (T-LUD), para comparación con codo rocket

Presentado por:

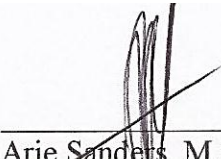
Fernando Enrique Támara Suárez

Aprobado:



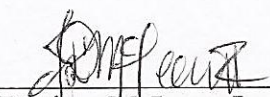
---

Timothy Longwell, M.Sc.  
Asesor principal



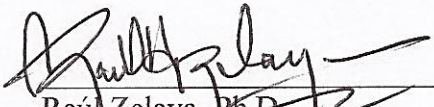
---

Arie Sanders, M.Sc.  
Director  
Departamento de Ambiente y  
Desarrollo



---

Denisse McLean, Ing.  
Asesor



---

Raúl Zelaya, Ph.D.  
Decano Académico

## RESUMEN

Támara Suárez, F.T. 2012. Fabricación y evaluación de estufa mejorada de plancha 16” x 24”, con cámara de combustión microgasificadora (T-LUD), para comparación con codo rocket. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 26 p.

Las estufas mejoradas brindan soluciones a problemas sociales, ambientales y económicos, ya que disminuyen el consumo de leña y las emisiones con respecto a las estufas tradicionales. Este proyecto consistió en construir una estufa con plancha 16” x 24” con cámara de combustión microgasificadora, para evaluarla y compararla con la estufa mejorada con plancha 16” x 24” con cámara de combustión de codo rocket. Se evaluaron tres combustibles para el microgasificador (“pellets”, olote y “chips” de madera) y para el codo rocket únicamente leña. Se usó la prueba de Kruskal-Wallis (KW) para la comparación entre tratamientos. Los resultados indicaron que el microgasificador disminuye el tiempo de ebullición y la eficiencia de emisiones de CO y CO<sub>2</sub> con respecto a la cantidad de combustible quemado. El tiempo de ebullición dicta la eficiencia en transmisión de calor y también la intensidad de calor que emite la llama. Las relaciones de biomasa combustionada con respecto al peso son para indicar que tanto gas (CO y CO<sub>2</sub>) se emite por cada gramo de biomasa combustionada. El microgasificador, tiene como característica, la producción de biocarbón y para el construido en el proyecto hay un rendimiento de 21% en promedio para los diferentes combustibles. Los resultados muestran que el microgasificador supera al codo rocket en tres variables y por medio más investigación se puede optimizar el funcionamiento del microgasificador para que supere al codo rocket en todo. El microgasificador es viable como cámara de combustión para estufas con plancha, no obstante la optimización de la eficiencia en emisiones es necesaria.

**Palabras clave:** Biocarbón, biocombustibles, calentamiento global, gases efecto invernadero (GEI), mitigación.

## CONTENIDO

Portadilla.....	ii
Página de firmas.....	iii
Resumen .....	iv
Contenido.....	v
Índice de cuadros, figuras y anexos .....	vi
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>7</b>
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>9</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>20</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>21</b>
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>22</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>24</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Medias y desviaciones estándar para todas las variables de cada tratamiento hecho para la evaluación de las estufas.....	10
2. Resultados de la comparación de las variables que indica la diferencia entre tratamientos .....	17
3. Resultados estadísticos de la prueba Mann-Whitney comparando los resultados que fueron significativos estadísticamente con la prueba Kruskal-Wallis de cada tratamiento del microgasificador contra el codo rocket.....	18
4. Poder calorífico de los diferentes combustibles. ....	26
Figuras	Página
5. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para consumo de leña .....	11
6. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para emisiones de CO.....	11
7. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para emisiones de CO <sub>2</sub> .....	12
8. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para micropartículas (PM) .....	13
9. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para tiempo de ebullición. ....	13
10. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para CO/CO <sub>2</sub> .....	14
11. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para eficiencia de emisiones de CO por kilogramo de biomasa consumida. ....	15
12. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para eficiencia de emisiones micropartículas por kilogramo de biomasa consumida. ....	15
13. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para eficiencia de emisiones de CO <sub>2</sub> por kilogramo de biomasa consumida. ....	16
Anexos	Página
14. Principios de la microgasificación.....	24
15. Materiales para la construcción de la estufa.....	24
16. Materiales para la evaluación .....	25
17. Poder calorífico de los distintos combustibles .....	26

## 1. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que más de tres mil millones de personas utilizan biomasa como combustible para satisfacer sus necesidades básicas de energía. Necesidades tales como conservar alimentos, calentar sus viviendas, ahuyentar insectos y calentar alimentos (OMS 2007). Esta utilización de leña conlleva efectos negativos en temas ambientales por deforestación y conservación de cuencas así como también en temas de salud de las familias que la implementan. Los efectos negativos más importantes, sobre la salud identificados, son dos enfermedades respiratorias: neumonía y obstrucción crónica de los pulmones (EPOC) (Regalado *et. al* 2006). Las enfermedades respiratorias son causadas por el humo emitido por las estufas y originan 2 millones de muertes anualmente a nivel mundial (Regalado *et. al* 2006).

La investigación para el mejoramiento de estufas de leña se viene realizando desde 1950, en India e Indonesia y se fundamenta, en la importancia del uso de leña y la baja eficiencia de las estufas tradicionales (Westhoff *et. al* 1995). Al tener esas bajas eficiencias térmicas (10 a 15%) en transferencia de calor, las estufas consumen mayor cantidad de leña. Este alto grado de ineficiencia tiene como consecuencia el acelerado proceso de deforestación y degradación de los ecosistemas forestales. Al mejorar la eficiencia de las estufas, en consumo de leña y emisiones, se conseguiría aumentar la calidad de vida de las personas que usen esta tecnología, disminuir el consumo de leña y por ende el impacto ambiental. Al disminuir el consumo de leña se lograría recortar los tiempos de cosecha, en consecuencia se conseguiría un mejor aprovechamiento del tiempo de los usuarios, permitiendo con esto realizar actividades distintas a las relacionadas con la cocina (Baldwin 1987).

El T-LUD (top lit up draft), es una cámara de combustión microgasificadora que genera menores emisiones de gases efecto invernadero (GEI), en comparación con otros modelos de estufas mejoradas de biomasa. Esta cámara de combustión genera calor con pedazos pequeños de biomasa como desperdicios de cultivos, “chips” de madera y “pellets” por nombrar algunos. Este estudio busca adicionar esta tecnología en el modelo de estufa 16” x 24”, que tradicionalmente tiene como cámara de combustión un codo rocket. Este modelo de estufa, plancha Justa 16” x 24” con cámara de combustión de codo rocket, ha sido implementado en las cocinas de los hogares hondureños. Al querer cambiar la fuente de calor de esa estufa, por un microgasificador, se tiene como meta mejorar la eficiencia en emisiones, el consumo de combustible y la disminución en tiempos de cocina.

Según el Manual de microgasificación (Roth 2011), este tipo de combustión reinventa el concepto de generación de calor ya que combustiona los gases emanados por la biomasa. Esta forma de generación de calor puede lograr un salto cualitativo hacia las mejoras en calidad de vida de los núcleos familiares, ya que disminuye emisiones de gases GEI y se espera que disminuya el tiempo en las labores de la cocina y consumo de leña. No obstante,

la microgasificación debe ser aceptada socialmente para lograr estos beneficios. Los beneficios de la microgasificación anteriormente mencionados se conocen hace más de 200 años. Sin embargo, hasta hace poco tiempo, en el año 1985, se adaptó a una escala micro para la implementación en estufas domésticas y sólo hasta el año 2003 salió el primer modelo de T-LUD al mercado mundial (Roth 2011).

Este proyecto también evaluará el rendimiento de producción de biocarbón, que tiene la estufa construida. El biocarbón fue mencionado por el científico Tim Flannery en el año 2007, “puede representar la iniciativa más importante para el futuro ambiental de la humanidad” (Taylor 2009). Este residuo resultado de la combustión del T-LUD es un abono orgánico que ha demostrado tener potencial para enmendar suelos desgastados. Brudges (2009) y Taylor (2010) hablan sobre la aptitud del biocarbón para mejorar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en el suelo, la retención de nutrientes y humedad, mejorar la estructura del suelo e incrementar la capacidad de éste para captura de carbono atmosférico. Por el momento, en las investigaciones que se han llevado a cabo incorporando biocarbón al suelo, la producción aumenta cerca de 44 % del rendimiento en cultivos (Brudges 2009).

La quema de biomasa en hogares es un problema de salud a nivel mundial que causa dos millones de muertes anualmente, posicionándose así por encima de la malaria y la tuberculosis (Aprovecho 2006). Según datos del Banco Mundial (2011), se estima que para el 2030 se contabilizarán mundialmente 4,000 muertes diarias por enfermedades respiratorias. Según Álvis y de la Hoz (2008), luego de analizar 537 artículos publicados desde 1993 hasta 2005, concluyeron que existe una relación directa entre la exposición de humo por combustión de biomasa y enfermedades respiratorias. Las enfermedades más letales son: la infección respiratoria aguda baja, la enfermedad pulmonar obstructiva (EPOC) y el cáncer de pulmón. Estos autores señalan además, que dentro de los esfuerzos para reducir la incidencia de la combustión de biomasa en la salud de las personas, deben mejorarse los dispositivos de salida de humo por medio de chimeneas y la eficiencia de la combustión, evitando así la combustión incompleta y la permanencia del humo dentro de las cocinas.

En el estudio realizado por Herrera (2010), se evaluó la concentración de emisiones entre la estufa Inkahuasi (estufa de cámara de combustión tipo rocket) y un T-LUD, modelo Peko-Pe. La cámara de combustión rocket es una estructura en forma de codo dentro del cual sucede la combustión de la leña y sirve como fuente de calor en distintos modelos de estufas mejoradas. Los resultados determinaron que la estufa T-LUD con los combustibles evaluados disminuye las emisiones de CO (monóxido de carbono) y PM (micropartículas) y los tiempos del WBT (“Water Boiling Test” Prueba de Punto de Ebullición). En la única variable que no superó el T-LUD a la Inkahuasi, fue en la emisión de micropartículas con ramas de pino, probablemente por las altas concentraciones de nutrientes en la corteza del pino.

El desempeño en los gasificadores T-LUD, tanto a nivel de eficiencia de la combustión y cantidad de emisiones, pueden ser afectadas por varios factores, entre ellos la relación de la cantidad de oxígeno respecto al combustible, el tamaño del combustible, el pre-calentamiento del oxígeno secundario, si es de tiro natural o alimentado con aire forzado, y los tipos de combustible (Herrera 2010). El factor más importante para la disminución de emisiones es la



relación de aire secundario con aire primario, ya que luego de la combustión es el primero el que entra en contacto con el humo de la combustión y permite que haya una segunda combustión que permite limpiar las emisiones.

La producción de biocarbón se basa en la densidad del combustible, que determina el rendimiento y las temperaturas alcanzadas dentro de la cámara de combustión determinando así la calidad del producto (Taylor 2010). Un buen biocarbón es producido en microgasificadores que llegan a temperaturas mayores de 400 grados centígrados. Por lo mencionado anteriormente, para elaborar esta evaluación se determinó que la cámara de combustión a utilizar sería un microgasificador o T-LUD, ya que ofrece ventajas tal y como lo menciona Roth (2011). Entre las ventajas mencionadas están la disminución de consumo de leña, la posibilidad de quemar diferentes tipos de biomasa, una combustión más limpia y completa, fácil encendido, mayor rapidez en el calentamiento y la producción de biocarbón como regenerador de suelos.

La integración de un T-LUD a una plancha 16x24 fue una idea conjunta desarrollada por el Doctor Paul Anderson, el Ingeniero Timothy Longwell y el autor. Esta idea fue el pilar para llevar a cabo esta investigación, sin embargo, el diseño de la estufa fue realizado libremente por el autor.

**Definición del problema.** Con miras a desarrollar una estufa que brinde una mejor opción para los hogares hondureños, se decidió construir y evaluar una estufa con plancha Justa 16” x 24” con cámara de combustión T-LUD. Los beneficios de la estufa propuesta son holísticos ya que incluyen mejoras en calidad del aire dentro de las cocinas, disminución de consumo de leña, disminución en los tiempos de cocción y sumado a todos estos, ofrece un producto que regenera suelos, el biocarbón.

La decisión de usar un T-LUD como fuente de calor para la plancha Justa 16” x 24”, fue tomada basándose en el hecho que más de 41% de los hogares hondureños usan leña como principal fuente para la cocción de sus alimentos (Sanders y Morazán 2011). Sumado a esto la cámara microgasificadora trae consigo todos los beneficios anteriormente mencionados. Con este tipo de cámara de combustión, se puede disminuir la tasa de consumo de leña, ya que genera calor con base en diferentes fuentes alternativas de biomasa.

Al mismo tiempo, el uso de las cocinas tradicionales en espacios cerrados deterioran la salud de los miembros del hogar, causándole problemas principalmente a las mujeres y niños en los sistemas respiratorios (Ahmed *et al.* 2005). El desarrollo de mejores estufas, aunado con la evaluación de las mismas, debe ser un interés prioritario para los gobiernos, para lograr darle la opción de incrementar calidad de vida a los pobladores en los sectores rurales.

Los aspectos para mejorar de las estufas de biomasa son los siguientes:

- La emisión de gases efecto invernadero para mitigar el calentamiento global y la incidencia de enfermedades respiratorias en humanos.

- Consumo de leña, para así mitigar la degradación ambiental y también la disminución de tiempo en recolección de leña. Esto permite a las amas de casa invertir el tiempo en actividades diferentes a las de cosecha de leña y cocción de alimentos.
- Mitigación de la contaminación atmosférica por medio de la disminución en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y con esto promover el mercado de bonos de carbono, que sería un incentivo de tipo subsidiario para las ONG y entidades de Gobierno.

**Justificación del estudio.** En Honduras, 88% de la población rural y 20% de los hogares en zonas urbanas, dependen de la leña como fuente de calentamiento, dado al lento proceso de electrificación (Sanders y Morazán 2011). No obstante, el problema con el uso de estufas tradicionales ha ido disminuyendo ya que en América Latina y el Caribe se han instalado 8.28 millones de estufas mejoradas por medio de las cuales se ha disminuido significativa en el consumo de leña a nivel regional (WFP 2010).

Se planteó realizar este estudio para lograr establecer si la estufa propuesta, plancha 16” x 24” con cámara de combustión microgasificadora, lograba ser más eficiente en términos de combustión. La estufa propuesta, busca superar a las estufas mejoradas existentes y para ello se determinó que se debía comparar con la más eficiente del mercado, la estufa 16” x 24” de cámara de combustión rocket.

La estufa propuesta ofrece la posibilidad de quemar distintos combustibles que no necesariamente tienen que ser leña. Esta característica implica que al usar diferentes fuentes de combustión para las estufas se disminuye la presión sobre los ecosistemas forestales, que son los que producen la leña. Los microgasificadores pueden utilizar una gran variedad de biomasa que debe ser sólida, relativamente seca (entre más seca más eficiente) y de un tamaño que permita el flujo adecuado de aire primario (Roth 2011). Estos microgasificadores son construidos con miras a utilizar biomasa que no requiera la destrucción de recursos forestales, lo que significa menos estrés en el ambiente local (Roth 2011). Sumado a los argumentos planteados para realizar esta evaluación, se debe incluir la capacidad que tiene la cámara microgasificadora de producir biocarbón. Ésta cámara de combustión tiene la posibilidad de producir biocarbón ya que al consumir todo el combustible se apaga la llama, se le corta el flujo de oxígeno, para evitar, que siga el proceso de combustión y el material se convierta en ceniza. El producto resultante, biocarbón, es un potencial regenerador de suelos para recuperar las tierras degradadas por agricultura. Al tener la capacidad de recuperar suelos se puede empezar el proceso de regeneración de las áreas degradadas durante décadas y con esto promover la sostenibilidad a largo plazo en las comunidades rurales.

**Límite y alcance del estudio.** Al iniciar el estudio se estableció que se construiría y evaluaría una estufa mejorada con miras a ofrecerle un producto con mayores beneficios a las organizaciones que promueven el uso de estas estufas y para los hogares que adopten la tecnología. El tiempo que se tuvo para la realización del estudio fue un factor limitante ya que no se logró optimizar la estufa al nivel que se esperaba. No obstante, se logró hacer la

evaluación de la estufa propuesta, y para esto se realizaron por lo menos tres repeticiones para cada tratamiento. Los microgasificadores incorporados a planchas son una opción para cualquier estufa mejorada ya se espera que sean estufas más eficientes. Esto es novedoso ya que anteriormente los microgasificadores sólo eran implementados para cocción a fuego directo.

El alcance de este estudio es mejorar la calidad de vida de los pobladores de las zonas rurales en Honduras. Está específicamente dirigida a esta población porque se basa en un modelo de estufa que ya ha sido implementado en hogares hondureños. Si la estufa mejorada construida supera a las otras, se puede llegar a integrar a los programas sociales que promueven el uso de estufas mejoradas.

### **Objetivos del estudio.**

- Fabricar una estufa de plancha 16” x 24” con microgasificador
- Evaluar y comparar las estufas para establecer si disminuyen las emisiones, el consumo de leña y el tiempo de ebullición.
- Evaluar el rendimiento de biocarbón de la estufa construida

**Revisión bibliográfica.** La importancia de la investigación en estufas mejoradas recae en la necesidad de mejorar la eficiencia de las estufas tradicionales. La eficiencia se enmarca en la disminución en el consumo de leña disminución en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la disminución en tiempos de cocina. Sumado a esto está la importancia de la exposición nociva de los usuarios a las emisiones de la combustión de los fogones que causa diversas enfermedades (World Bank 2011). La mejora en eficiencia de las estufas mejoradas ayuda a atacar problemas de salud y ambientales, por eso cada vez se convierte en un tema de mayor importancia (Boy *et al.* 2000).

Las estufas mejoradas no pueden enmarcarse dentro de una sola categoría ya que difieren de acuerdo a las necesidades de las diferentes poblaciones a nivel mundial (Westhoff *et al.* 1995). Tanto así que por no tener en cuenta detalles como éste, ciertos programas de estufas mejoradas han fracasado y han promovido la idea que todos los programas de estufas son un fracaso (World Bank 2011). Cada país tiene diferencias culturales en cuanto a modalidades de cocina por lo que se debe estar en constante intercambio de ideas con los usuarios, para lograr ofrecerles una estufa que les mejore la calidad de vida.

Las amas de casa y los niños en países en vías de desarrollo son la porción de la población mundial que más está expuesta a este problema de salud pública (World Bank 2011). 75% de la población en países en vías de desarrollo usan biomasa para la cocción de sus alimentos (Westhoff *et al.* 1995). Esto implica que cerca de tres mil millones de personas dependen de leña, residuos agrícolas o desechos animales para la cocción de sus alimentos (Boy *et al.* 2000). Cerca de dos terceras partes de la población rural en países en vía al desarrollo utilizan biomasa como su principal fuente de energía (Boy *et al.* 2000). Otra fuente habla que

la biomasa provee 90% de la energía en zonas rurales en países subdesarrollados (Bhattacharya y Abdul Salam 2002). Esto conlleva a un agotamiento acelerado de los recursos forestales por lo que la implementación de estufas mejoradas mitiga esta problemática.

La exposición a las emisiones de combustión incompleta que sucede en las cocinas familiares está directamente ligada con problemas respiratorios. Las muertes por Infección Respiratoria Aguda Baja alcanzan dos millones anualmente, cuando sólo se toma en cuenta niños menores de cinco años (Alvis y de La Hoz 2008). La Infección Respiratoria Aguda representa 7% de la carga de enfermedad global por año (Alvis y de La Hoz 2008). Un estudio realizado en México estableció que existe mayor incidencia de tos y flema en las mujeres que cocinan con estufas de combustión de biomasa sin embargo, por el corto tiempo del estudio no estableció si existe disminución en la capacidad pulmonar (Regalado *et al.* 2006). La exposición prolongada al humo generado por las estufas de biomasa, ha sido directamente ligada con la incidencia de enfermedades respiratorias como el cáncer de pulmón, la infección respiratoria aguda y el asma (World Bank 2011).

El agotamiento de los recursos forestales no solo implica la escasez de madera, también implica la escasez de fertilidad en esos suelos sin cobertura. Los microgasificadores pirolíticos permiten la creación de carbón que puede ser usado con fines energéticos o como biocarbón, para regeneración de suelos (Roth 2011). El biocarbón se define como carbón vegetal pulverizado hecho de cualquier material orgánico (no solo leña) que cuando se mezcla con el suelo, promueve su fertilidad (Brudges 2009). Este promotor de fertilidad en el suelo trabaja en combinación con los otros componentes del suelo y sus microbios, para promover una mejora permanente en la dinámica y la nutrición del suelo (Taylor 2011). Esto mejora el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Taylor 2011). La producción de biocarbón en los hogares es una oportunidad para los pequeños agricultores de usar este producto como promotor de fertilidad del suelo, con esto se logran mayores niveles de producción de alimentos (Torres-Rojas *et al.* 2011). Si se permite que el biocarbón siga combustionando y se convierta en ceniza se pierde el valor que tiene como fertilizante. Si se pierde el valor como regenerador de suelo se pierde la oportunidad de disminuir la carga de CO<sub>2</sub> en la atmósfera lo que sería lo contrario si se permite la conversión en ceniza. La pérdida de energía calorífica es remplazada por la mitigación del cambio climático como consecuencia de la captura de carbono por parte de los suelos (Taylor 2010).

Los gasificadores están definidos como artefactos en los que los distintos tipos de biomasa se transforman en gases combustibles en procesos distintos y separados del proceso de combustión de dichos gases (Anexo 1). La cámara de combustión microgasificadora es una tecnología en la cual se tiene control de la combustión y se produce gas mediante la combustión de biomasa seca. Luego de este proceso se añade oxígeno y se combustiona ese gas proveniente de la madera lo que permite que haya una quema limpia del combustible. El proceso depende de la relación entre oxígeno primario y oxígeno secundario para así lograr la combustión más limpia posible (Anderson y Reed 2004).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se dividió en las etapas de la construcción de la estufa propuesta y la evaluación de las dos estufas a comparar, para su posterior análisis. La construcción se llevó a cabo en la unidad de Forestales con la asistencia técnica del señor Jaime Vásquez. La evaluación se llevó a cabo en el laboratorio del CCEM (Centro de Certificación de Estufas Mejoradas) ubicado en Zamorano, en la unidad anteriormente mencionada.

Para la construcción del microgasificador se siguieron los parámetros expuestos por Roth (2011). Se elaboró un microgasificador de dos cilindros en el cual la altura del cilindro de adentro, también llamado cámara de combustión, fue establecida según el tiempo promedio de cocción de alimentos en Honduras (Sanders y Morazán, 2011). Para concluir la estufa se construyó la estructura que permite sostener la plancha e introducir el microgasificador debajo de la plancha, para que sea la fuente de calor de la estufa.

A modo de ensayo para establecer si se lograba elaborar una estufa con temperatura regulable, se elaboró una entrada de aire primario regulable. La entrada de aire regulable consiste en tener una lámina al fondo de la cámara de combustión (cilindro interno) con cuatro entradas de aire. Esta lámina es rotativa para lograr aumentar o disminuir la entrada de aire primario y así evaluar si existe diferencias entre las temperaturas de la plancha con las distintas cantidades de entrada de aire.

Se estandarizaron las aberturas de entrada de aire primario que constituyeron el equivalente a niveles de potencia de calor. El fuego alto permite la mayor entrada de aire posible y fuego bajo que permite que entre la mitad de aire primario del que entra en la posición para fuego alto (Anexo 2).

Una vez se concluyó la construcción de la estufa se entró a evaluar el desempeño del producto, que en la fase preliminar no superó a la estufa en comparación (16" x 24" con cámara de combustión de codo rocket). Esto dictó la necesidad de hacer modificaciones que consistieron en disminuir el diámetro del cilindro donde sucede la combustión. Esta disminución se hizo para permitir más entrada de aire secundario que es el que se mezcla con los gases ya combustionados para llevar a cabo una segunda combustión, que es la que permite que las emisiones sean limpias. La disminución del diámetro se hizo dos veces de manera que al finalizarlas, quedaba un diámetro de 24 centímetros.

Los microgasificadores ofrecen la posibilidad de quemar diversos tipos de combustibles, para efectos de este ensayo se estableció la evaluación del desempeño de la estufa construida con olotes de maíz, "chips" de pino y "pellets" de madera. Para llevar a cabo la evaluación, se implementó el protocolo WBT. El protocolo se divide tres fases de las cuales sólo la primera y la tercera fueron tomadas en cuenta para esta evaluación. Esto

debido a que el microgasificador es una cámara de combustión de tandas y por tiempo no alcanza a realizar las tres fases. Esto dado a que el microgasificador construido solo combustiona durante 65 minutos con olote, lo que no permite que se hagan las tres fases ya que para realizar la totalidad de la prueba se necesita más tiempo del que ofrece el microgasificador.

La primera fase consiste en llevar cinco litros de agua a 96.1° centígrados y registrar el tiempo empleado. Al terminar esta etapa se pesa la cantidad de agua en la olla para establecer cuánta agua se evaporó. Luego se procede a iniciar la fase 3, que para este proyecto fue modificada y consiste en mantener el agua a 96.1° más o menos tres grados, durante 30 minutos. Durante todo el protocolo la estufa debe estar bajo la toma de aire del PEMS (“Portable Emission Monitoring System”) (Bailis *et al.*S.F.).

Para la toma de datos se implementó el PEMS desarrollado por Aprovecho Research Center, que provee los valores caloríficos de cada combustible (Anexo 4). El PEMS consiste de una estructura en forma de campana que succiona por medio de un ventilador el humo emitido por la estufa, mide el flujo y las emisiones de monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y las micropartículas (PM 10 nanómetros). Este sistema cuantifica las emisiones totales exhaladas por la chimenea de la estufa durante el protocolo WBT (MacCarty *et al.* 2008).

Para la evaluación de las estufas, se implementaron materiales (Anexo 3) y por medio de esta se analizaron y compararon las siguientes variables: el consumo de leña, las emisiones de CO, CO<sub>2</sub> y PM (10 nanómetros), el tiempo para llegar a punto de ebullición, la relación entre emisiones de CO y CO<sub>2</sub> y la eficiencia de emisiones por kg de combustible consumido. Esta comparación se realizó para establecer si la estufa con cámara de combustión microgasificadora era más eficiente que la de codo rocket. Esta comparación se hizo por medio de la hoja de procesamiento de datos del PEMS, brindada por el Aprovecho Research Center para obtener resultados del protocolo WBT.

Al obtener los datos evaluados se procesaron los resultados en el programa SPSS bajo la metodología estadística Kruskal Wallis. Esta metodología estadística permite comparar más de dos grupos y así establecer las diferencias entre las mediciones de los grupos comparados. Al tener certeza de cuáles grupos sí eran diferentes estadísticamente se procesaron por medio del mismo programa estadístico con el método Mann-Whitney, con la corrección de Bonferroni para evitar el conflicto de comparaciones múltiples, método indicado para procesar dos grupos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Pruebas preliminares de quema y tamaño de combustibles.** El tiempo promedio de cocción de alimentos en los hogares hondureños es de 65 minutos para cada tiempo de comida. La velocidad de combustión del olote, combustible menos denso por lo que se consume más rápido, es de 1 centímetro por minuto. Al establecer la relación de velocidad de combustión, con tiempo de cocción, se dispuso que la altura de la cámara de combustión sería de 76.2 centímetros.

**Estufas con cámara de combustión microgasificadora con plancha 16 x 24.** El microgasificador evaluado es de 87.6 centímetros con un diámetro de 33 centímetros para el cilindro de afuera. La cámara de combustión o cilindro de adentro, es de 73.4 centímetros de alto y un diámetro de 24.1 centímetros. La estructura para la plancha es de 102.9 centímetros de alto y el marco para el sostenimiento de la plancha se hizo de 41 centímetros de ancho por 61.3 centímetros de largo.

**“Pellets” de madera como combustible.** Para el correcto funcionamiento de la estufa debe haber un flujo de aire primario constante, y eso es posible cuando las partículas del combustible permiten el paso de éste. Al ser tan pequeños los “pellets” y la cámara de combustión tan alta, la compactación, por la altura de la columna del combustible no permite que haya flujo de aire primario. Dado que no hay ese flujo de aire la combustión no puede mantenerse, por falta de oxígeno y la estufa se apaga. Por la falta de flujo de aire dado el tamaño de las partículas el microgasificador no puede mantenerse prendido con los “pellets”.

**Resultados de estadísticas descriptivas.** Para analizar los datos evaluados, se insertaron los valores en una hoja de Excel elaborada por Aprovecho Research Center y se obtuvieron los resultados. Se debe tener en cuenta que la hoja fue desarrollada para el Protocolo WBT estandarizado y que para efectos de la evaluación de la estufa construida, el protocolo fue modificado, por lo cual sólo se pudieron contar con ciertos resultados, ya que sólo fueron tomados en cuenta los resultados mencionados anteriormente.

El procesamiento de los datos se hizo en SPSS (programa estadístico) y fueron hechos con un nivel alfa de 0.05. A continuación se presentan los resultados y se exponen apreciaciones basadas en éstos. Sólo se tomaron los resultados para la comparación entre las dos estufas mencionadas y los diferentes tratamientos.

Cuadro 1. Medias y desviaciones estándar para todas las variables de cada tratamiento hecho para la evaluación de las estufas.

Tipo de prueba	DIFERENTES TRATAMIENTOS														
	T-LUD/O/FA			T-LUD/O/FB			T-LUD/CH/FA			T-LUD/CH/FB			16" x 24"		
	N	Media	D.E.	N	Media	D.E.	N	Media	D.E.	N	Media	D.E.	N	Media	D.E.
Consumo de leña (g)	6	1860	324	6	1849	121	4	1788	198	4	1850	287	3	2318	531
Emisiones CO (g)	6	203.2	64.7	6	245	40.3	4	108	104	4	222	140	3	143	95
Emisiones CO <sub>2</sub> (g)	6	3091	526	6	2995	262	4	3108	226	4	3043	328	3	4024	834
Emisiones PM (mg)	6	1228	612	6	3299	2793	4	834	852	4	3338	2771	3	5085	2801
Tiempo WBT (min)	6	41.6	5.57	6	39.3	2.34	4	51.5	14.2	4	35.5	3.42	3	64	9.54
CO x CO <sub>2</sub> (molar)	6	0.22	0.05	6	0.27	0.05	4	0.11	0.10	4	0.22	0.12	3	0.11	0.06
EF x CO (g/kg)	6	228.6	44	6	271.7	47.9	4	114	98.3	4	227	109	3	117	67.2
EF x PM (g/kg)	6	1.49	0.67	6	3.50	2.94	4	0.86	0.83	4	3.36	2.39	3	4.50	2.35
EF x CO <sub>2</sub> (g/kg)	6	3307	69.2	6	3239	75.1	4	3486	154	4	3309	172	3	3481	105

T-LUD (Cámara de combustión T-LUD); O (Olote); CH (Chips de madera); FA (Fuego alto); FB (Fuego bajo); 16" x 24" (Estufa con cámara de combustión de tipo rocket) D.E. (Desviación Estándar)  
 gramos (g); miligramos (mg); minutos (min); relación de moles de CO y CO<sub>2</sub> (molar); relación de gramos de emisiones por kilogramos de material combustionado (g/kg)



La figura de consumo de leña muestra las diferencias en medias y desviaciones estándar entre tratamientos. La estufa que más consume leña en promedio es la 16" x 24", con cámara de combustión rocket y también tiene una desviación estándar mayor. Sin embargo por la variabilidad no se puede establecer con certeza cual es el tratamiento que más consume biomasa.

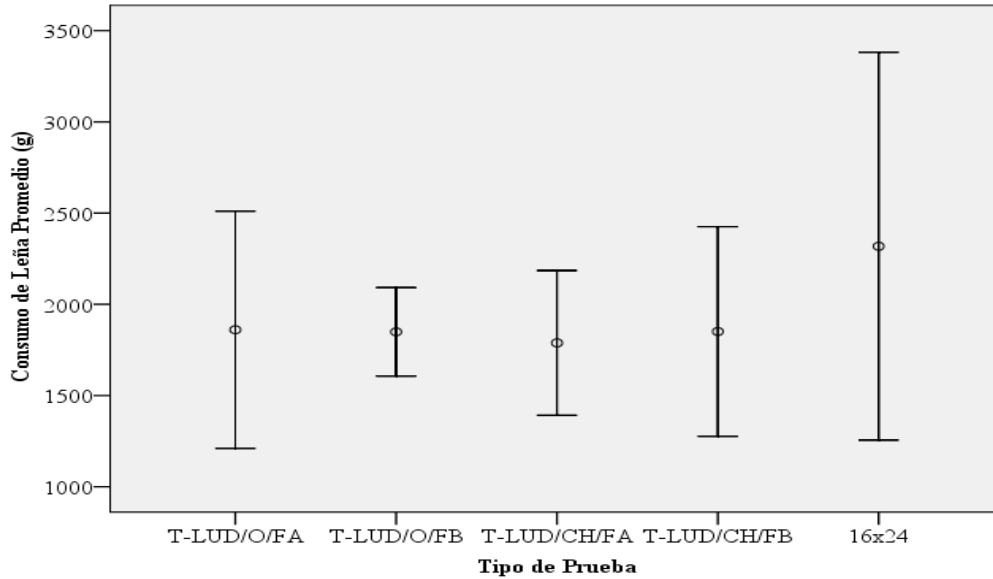


Figura 1. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para consumo de leña

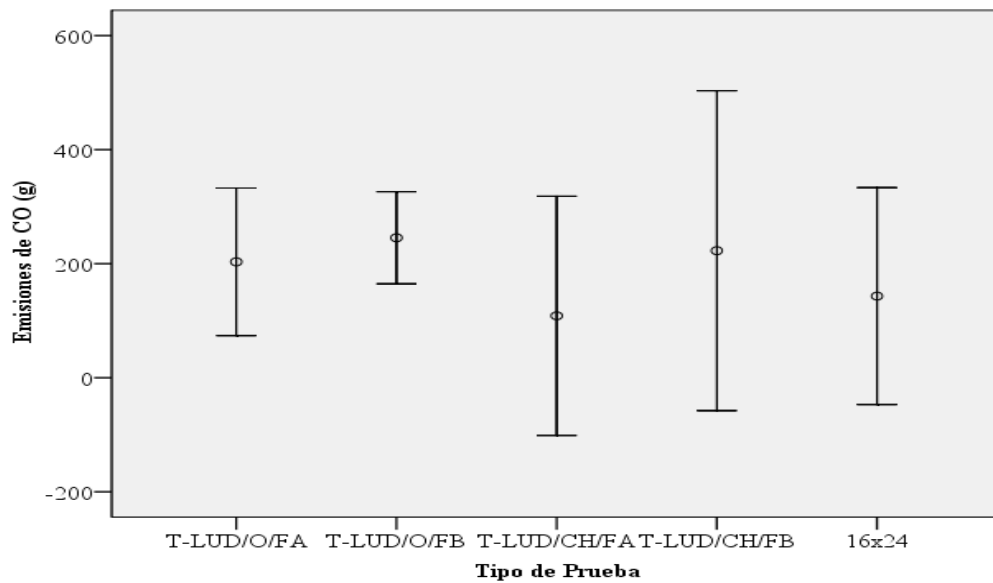


Figura 2. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para emisiones de CO.

En la figura que muestra las medias y las desviaciones estándar de las emisiones de CO (monóxido de carbono). Se puede observar que la estufa con menos cantidad de CO en gramos emitidos fue la del T-LUD 16" x 24" con combustible de chips de madera de pino. Los tratamientos con olote de maíz tuvieron emisiones más altas si se comparan con los chips de madera, esto se da por la concentración más alta de minerales en el olote.

En emisiones de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) se refleja una diferencia en la emisión de la estufa con cámara de combustión microgasificadora con respecto a la estufa 16" x 24". En todos los tratamientos hay una menor emisión de CO<sub>2</sub>, y los tratamientos de menores emisiones fueron los "chips" de pino en fuego bajo al igual que el olote a fuego.

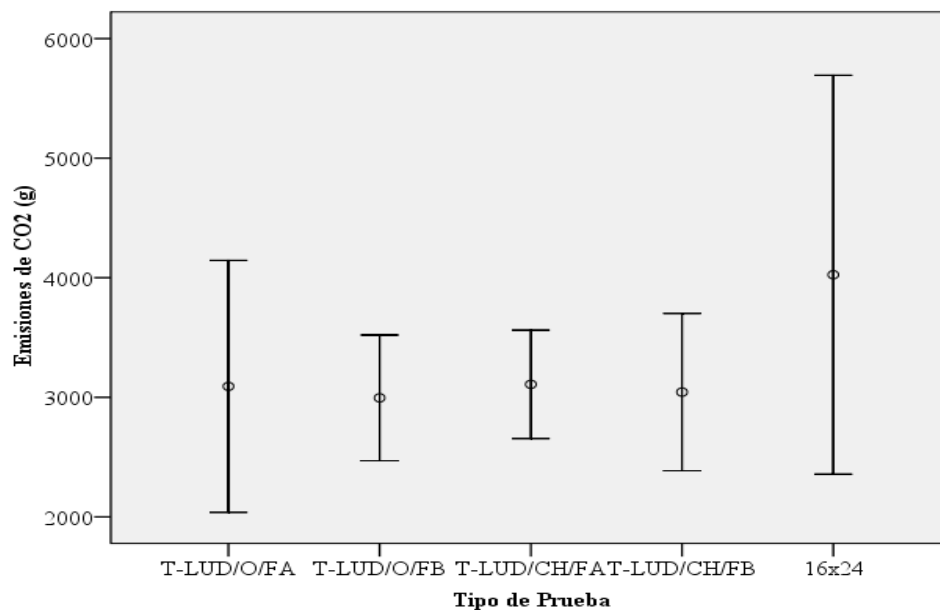


Figura 3. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para emisiones de CO<sub>2</sub>

Para las emisiones de micropartículas o PM (por sus siglas en inglés) menores a 10 nanómetros de diámetro, se observa que la cámara de combustión T-LUD es más eficiente que la cámara de codo rocket. El tratamiento que menos emitió PM fue el de "chips" de pino a fuego alto. En esta variable también resultó que la cámara de combustión de codo rocket es la que más emitió PM.

El tiempo de ebullición, varió mucho entre las dos cámaras de combustión analizadas siendo el T-LUD es el más eficiente. El tratamiento que hirvió los cinco litros de agua en menor tiempo fue el combustible de "chips" de pino a fuego bajo. Con estos resultados también se determina que la cámara microgasificadora alcanza mayores temperaturas en menores tiempos, ya que todos los tratamientos hirvieron el agua en menor tiempo que la

estufa con codo rocket. Estos resultados demuestran que la temperatura en plancha con el T-LUD es mayor y por ende hay una mejor y más rápida transmisión de calor.

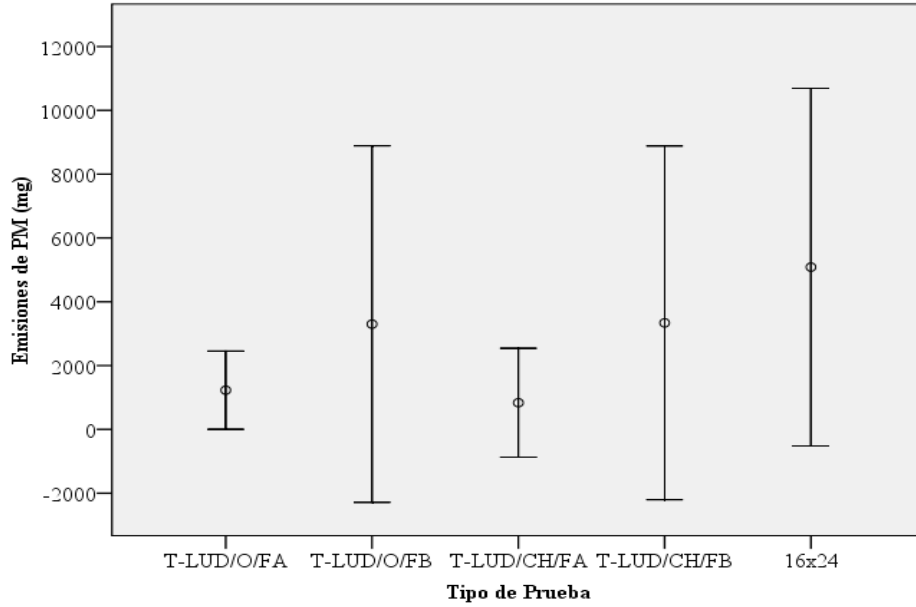


Figura 4. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para micropartículas (PM).

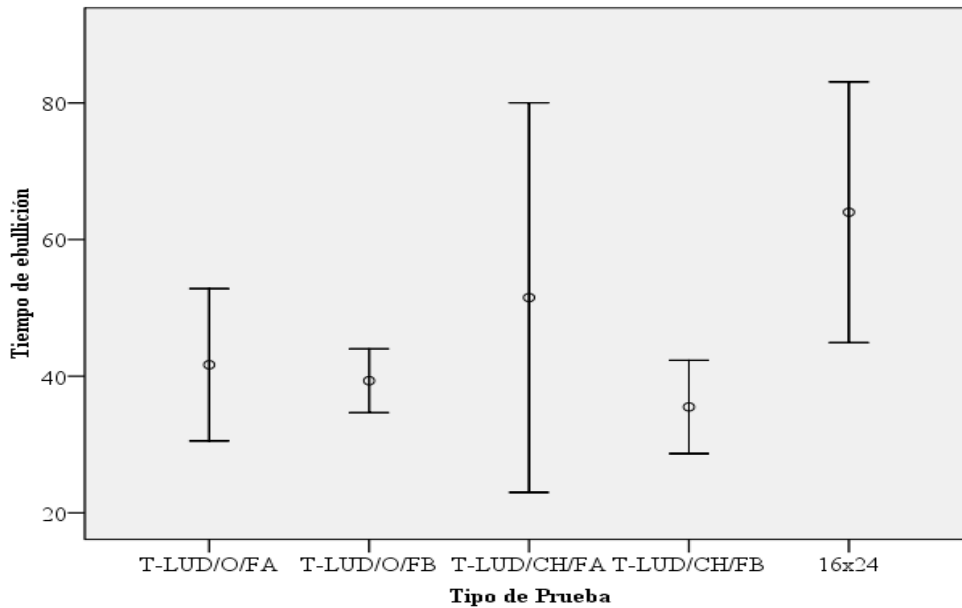


Figura 5. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para tiempo de ebullición.

La figura de la relación entre emisiones de CO y CO<sub>2</sub> muestra que la más eficiente fue la cámara de combustión T-LUD con combustible de “chips” de pino en fuego alto y con resultados muy cercanos quedó la cámara de codo rocket. Esta variable es la que indica que debe haber mayor trabajo en la relación del oxígeno primario y secundario en la cámara microgasificadora.

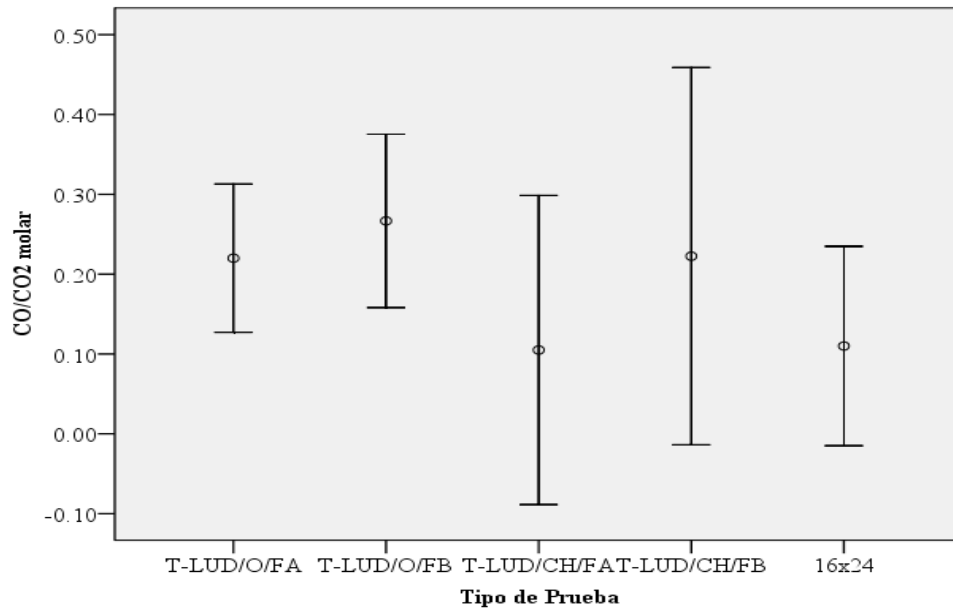


Figura 6. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para CO/CO<sub>2</sub>

Para la eficiencia calorífica con respecto a las emisiones de PM, el mejor tratamiento fue el T-LUD con combustible de chips de pino en fuego alto ya que transmitió más calor por gramo de micropartículas emitido (PM). En el tratamiento de T-LUD con combustible de olote a fuego bajo hay una amplitud de resultados muy marcada, por lo que sería necesario hacer más ensayos para lograr establecer un promedio más estandarizado.

Los resultados de la eficiencia calorífica por cada gramo de CO<sub>2</sub> emitido indican que la cámara de combustión T-LUD con olote a fuego bajo fue la más eficiente. El gráfico también muestra como la cámara de codo rocket es la menos eficiente en esta variable específicamente. En los diferentes tratamientos se puede establecer que las emisiones estuvieron influidas directamente por la resina que hay en los chips de pino y la alta cantidad de minerales que contiene el olote.

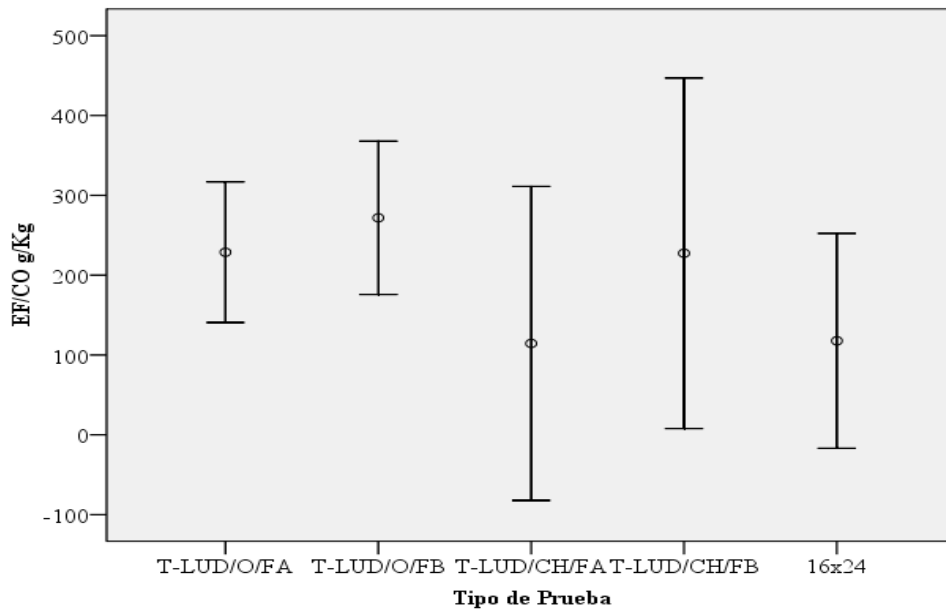


Figura 7. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para eficiencia de emisiones de CO por kilogramo de biomasa consumida.

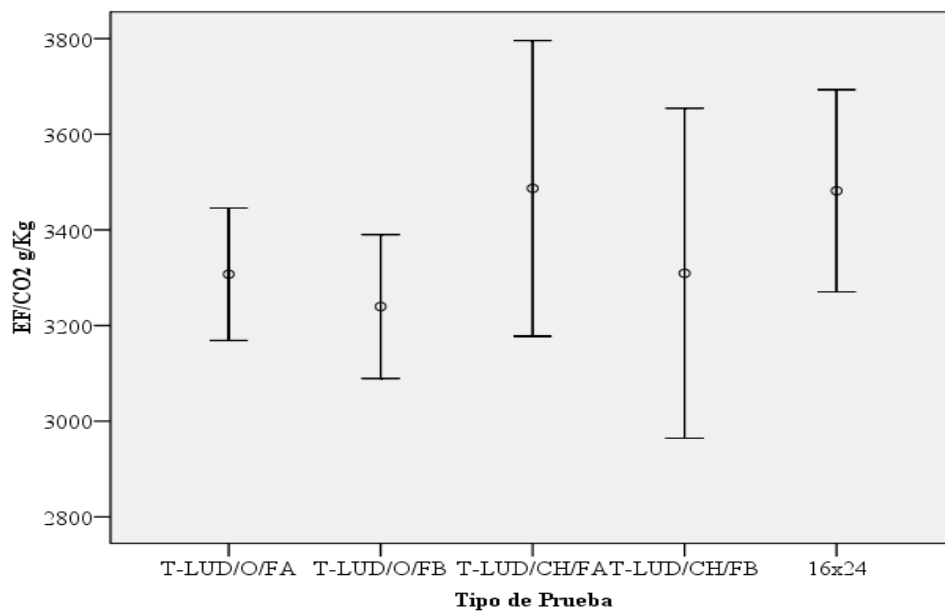


Figura 8. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para eficiencia de emisiones micropartículas por kilogramo de biomasa consumida.

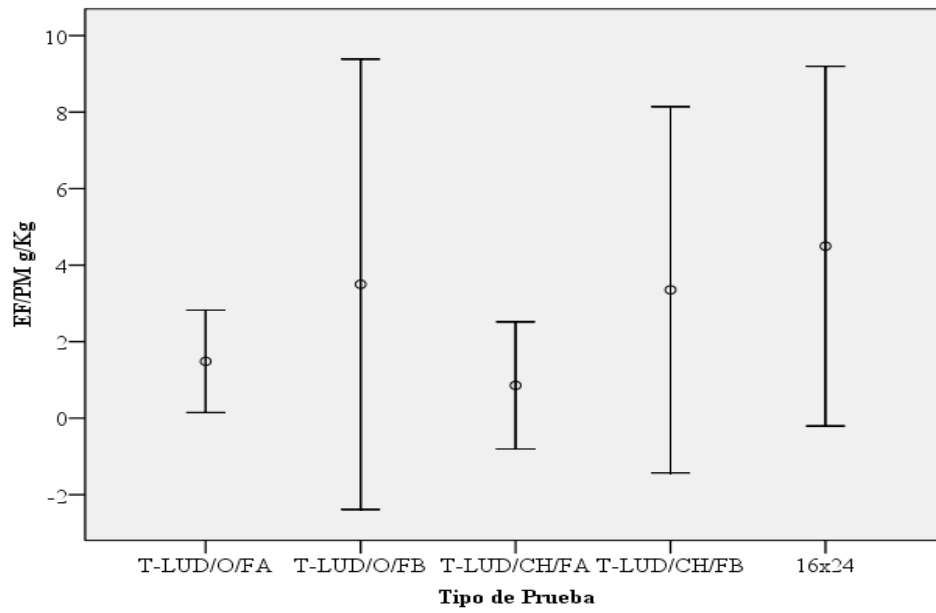


Figura 9. Medias y desviaciones estándar de cada tratamiento para eficiencia de emisiones de CO<sub>2</sub> por kilogramo de biomasa consumida.

### Resultado de la comparación de las variables entre tratamientos.

Cuadro 2. Resultados de la comparación de las variables que indica la diferencia entre tratamientos

	<b>Consumo de leña (g)</b>	<b>Emisiones CO (g)</b>	<b>Emisiones CO2 (g)</b>	<b>Emisiones PM (mg)</b>	<b>Tiempo de ebullición (min)</b>	<b>Relación CO/CO<sub>2</sub> (molar)</b>	<b>Eficiencia/CO (g/kg)</b>	<b>Eficiencia/PM (g/kg)</b>	<b>Eficiencia/CO<sub>2</sub> (g/kg)</b>
Asymp. Sig.	0.42	0.21	0.10	0.06	0.01	0.03	0.04	0.06	0.04

Datos procesados en SPSS

Las variables en las cuales hay diferencias significativas son el tiempo de la prueba de punto de ebullición, la relación de dióxido de carbono y monóxido de carbono, la eficiencia calorífica por gramos de monóxido de carbono emitidos y la eficiencia calorífica por gramos de dióxido de carbono emitidos. Al tener diferencias significativas los resultados indican que se puede hacer distinciones en el desempeño de las estufas comparadas. Esto indica que hay una mejora en cuatro de las nueve variables analizadas por ende hay una mejora que puede ser aún mayor con una mejora en la relación de aire primario y secundario. Si se optimiza esa relación y se permite un mayor flujo de aire secundario el microgasificador podría superar ampliamente al codo rocket. Al aumentar el flujo de aire secundario se lograría disminuir la relación de monóxido de carbono por dióxido de carbono. Al disminuir esta relación las emisiones serían más limpias y contaminarían menos. Para conseguir esto hay tres opciones, la primera consiste en aumentar el diámetro del cilindro de afuera, la segunda sería disminuir el diámetro del cilindro de adentro (cámara de combustión) y el tercero es forzando la entrada de aire secundario por medio de un ventilador. Esta mejora en la relación de aire secundario y aire primario también causaría un aumento en la temperatura de la llama dado que estaría combustionando más gases y así disminuiría aun más el tiempo de ebullición. Con la mejora hecha, teóricamente, se aumentaría la eficiencia de biomasa combustionada con respecto a la emisión de gases.

### Pruebas Mann-Whitney entre los tratamientos T-LUD comparados contra la estufa de codo rocket 16 x 24.

Cuadro 3. Resultados estadísticos de la prueba Mann-Whitney comparando los resultados que fueron significativos estadísticamente con la prueba Kruskal-Wallis de cada tratamiento del microgasificador contra el codo rocket

Tratamiento	Significancia	P (Bonferroni)	VARIABLE			
			Min	Molar	g/Kg <sup>1</sup>	g/Kg <sup>2</sup>
T-LUD/O/FA vs 16x24	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.01	0.02	0.04	0.04	0.04
T-LUD/O/FB vs 16x24	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
T-LUD/CH/FA vs 16x24	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.01	0.29	0.59	0.72	0.72
T-LUD/CH/FB vs 16x24	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.01	0.03	0.21	0.29	0.29

T-LUD (Cámara de combustión T-LUD); O (Olote); CH (Chips de madera); FA (Fuego alto); FB (Fuego bajo); 16x24 (Estufa con cámara de combustión de tipo rocket)

Min (Tiempo de ebullición, Molar (CO x CO<sub>2</sub>), g/kg<sup>1</sup> (Eficiencia de CO), g/kg<sup>2</sup> (Eficiencia de CO<sub>2</sub>))

Por los resultados obtenidos luego de la prueba Mann-Whitney con la corrección de Bonferroni se puede establecer que no hay ninguna variable con diferencia significativa. La corrección de Bonferroni hace que las diferencias tengan que ser muy significativas haciendo esta prueba altamente conservadora. Al comparar el codo rocket con todos los tratamientos de la cámara de microgasificación no se obtiene ninguna diferencia significativa. El tratamiento que más se acerca a una diferencia significativa es el



tratamiento del microgasificador con olote a fuego bajo. Siendo que en este caso superó al codo rocket en todo menos en la relación de CO x CO<sub>2</sub>.

**Rendimiento de biocarbón.** Los rendimientos no variaron de combustible a combustible, ya que todos están cercanos al 21%, que es la media de todas las pruebas. El valor de los chips a fuego alto es elevado (26%) porque en dos pruebas no se quemó en su totalidad el combustible, lo que implica que no todo el combustible fue convertido en biocarbón. El valor más alto se presentó en la una prueba de chips a fuego alto donde no se quemó todo el combustible y el resultado fue que 44% se convirtió en biocarbón. Para el olote el rendimiento fue de 21% para los dos tipos de fuego y para los “chips” a fuego bajo el rendimiento fue de 18%. Este rendimiento indica también la eficiencia de la combustión y si realmente hay una quema completa del combustible. Los rendimientos presentados por Brudges (2009) indican que en pruebas hechas en otros microgasificadores con otros combustibles también tiene un rendimiento promedio del 20%, lo que indica que el microgasificador construido esta dentro de los parámetros.

## 4. CONCLUSIONES

- En esta investigación se llevaron a cabo actividades para lograr establecer si la cámara microgasificadora es más eficiente que el codo rocket. Hizo falta tiempo ya que al continuar la investigación se habría podido optimizar la relación de aire primario y aire secundario. Sin embargo, a continuación se exponen algunas observaciones que se hicieron a través de la investigación.
- Los microgasificadores pueden funcionar como cámara de combustión para estufas con plancha, ya que ofrecen distintas opciones de combustibles y son más eficientes una vez se perfeccionan.
- El T-LUD supera al codo rocket en temperaturas en la plancha ya que el tiempo que toma llevar agua a punto de ebullición menor.
- Este microgasificador permite que en promedio 21% del combustible utilizado se convierta biocarbón.
- El modelo no logró superar a la Justa 16" x 24", en todas las variables, por ende se debe perfeccionar el diseño y continuar con la investigación para establecer la mejor relación de aire primario con aire secundario.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Continuar con la investigación para lograr optimización en el funcionamiento del microgasificador.
- Realizar investigación sobre la aceptación de este tipo de estufa en hogares que utilicen estufas con plancha para la cocción de alimentos.
- Se debe probar el T-LUD sin plancha para lograr establecer si hay diferencia con los resultados con plancha, para conocer si la plancha influye en el funcionamiento y emisiones del microgasificador.
- Se debe probar el T-LUD con diferentes combustibles como briquetas y otros desechos agrícolas como bagazo de caña o desechos de poda de ornamentales.
- Investigar si el codo rocket puede quemar diferentes combustibles como briquetas para establecer la eficiencia y comparar con microgasificador.
- Se debe hacer más repeticiones para establecer resultados más confiables.

## 6. LITERATURA CITADA

Ahmed, K., Y. Awe, D. Barnes, M. Cropper y M. Kojima. 2005. Environmental Health and Traditional Fuel Use in Guatemala. Direction in Development. World Bank, Washington DC. 118 p.

Alvis N y de la Hoz F. 2008. Home air pollution and respiratory illnesses (low sharp respiratory infection, COPD, lung cancer and asthma): evidences of association. Revista de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia. 56 (1):54-64.

Anderson, P. y T. Reed. 2004. Biomass Gasification: Clean Residential Stoves, Commercial Power Generation, and Global Impacts. Preparado para LAMNET Project International Workshop on "Bioenergy for a Sustainable Development," 8-10 Nov 2004, Viña del Mar, Chile.

Aprovecho Research Center, Shell Foundation y Partnership for Clean Indoor Air. 2006. Principios de diseño para estufas de cocción con leña. Cottage Grove, Oregon, Estados Unidos. Aprovecho Research Center. 38 p.

Bailis, R., D. Ogle, N. MacCarty, y D. Still. S. F. The Water Boiling Test (WBT). Preparado para el Household Energy and Health Programme, The Shell Foundation.

Bhattacharya, SC, D.O. Albina y AU. Khaing. 2002. Effects of selected parameters on performance and emission of biomass- fired cookstoves. Biomass & Bioenergy. 23:387-395.

Bhattacharya, S.C. y P.A. Salam. 2002. Low greenhouse gas biomass options for cooking in the developing countries. Biomass & Bioenergy. 22:305-317.

Boy, E., N. Bruce, KR. Smith y R. Hernandez. 2000. Fuel efficiency of an improved wood-burning stove in rural Guatemala: implications for health, environment and development. Energy for Sustainable Energy. Volumen IV N 2: 23-31 p.

Bridges, J. 2009. The Biochar Debate: Charcoal's Potential to Reverse Climate Change and Build Soil Fertility. White River Junction, Vermont, Chelsea Green Publishing. 120 p.

Herrera Viteri, J.A. 2010. Fabricación y evaluación de la estufa T-LUD con diferentes tipos de combustibles. Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrónomo. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 50 p.

MacCarty, N., D. Still, D. Ogle, y T. Drounin. 2008 Assessing Cook Stove Performance: Field and Lab Studies of Three Rocket Stoves Comparing the Open Fire and Traditional Stoves in Tamil Nadu, India on Measures of Time to Cook, Fuel Use, Total Emissions, and Indoor Air Pollution (en línea). Consultado 3 de mayo 2012. Disponible en <http://www.aprovecho.org/web-content/publications/assets/India%20CCT%20Paper%201.7.08.pdf> .

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2007. Energía doméstica y salud: combustibles para una vida mejor. Francia. Ediciones de la OMS. 28 p.

Regalado, J., R.Pérez-Padilla, R.Sansores, J.I. Páramo, M. Brauer, P. Peter y S. Vedal. 2006. The Effect of Biomass Burning on Respiratory Symptoms and Lung Function in Rural Mexican Women. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 74: 901-905.

Roth, C. 2011. Microgasificación: Cocinando con gas de biomasa. Equipo del Centro de Estufas Mejoradas de Zamorano. Valle del Yegüare, Honduras, HERA y GIZ. 98 p.

Sanders, A. y Morazán L. 2011. Consumo de leña en Honduras. Universidad Zamorano. Valle del Yegüare, Honduras. 34 p.

Sinton, J.E., K.R. Smith, J.W. Peabody, L. Yaping, Z. Xiliang, R. Edwards, y G. Quan. 2004. An assessment of programs to promote improved household stoves in China. *Energy for Sustainable Development*. 7(3):33-52.

Taylor, P. 2010. *The Biochar Revolution: Transforming Agriculture & Environment*. 1 ed. Victoria, Australia, Global Publishing Group. 361 p.

Torres-Rojas, D.J., P. Lehman, P. Hobs, S. Joseph y H. Neufeldt. 2011. Biomass availability, energy consumption and biochar production in rural households of Western Kenya. *Biomass and Bioenergy*. 35:3537-3546.

Urban, G.L., K.M. Bryden y D.A. Ashlock. 2002. Engineering optimization of an improved plancha stove. *Energy for Sustainable Energy*. 6(2):9-19.

Westhoff, B. y D. German. 1995. *Estufas en imágenes: Una documentación sobre las estufas mejoradas y tradicionales de Africa, Asia y América Latina*. Trad. Pedro Navarro Torrecillas. CCE - Comisión de las Comunidades Europeas; SfE – Sozietät für Entwicklungsplanung GmbH. 216 p.

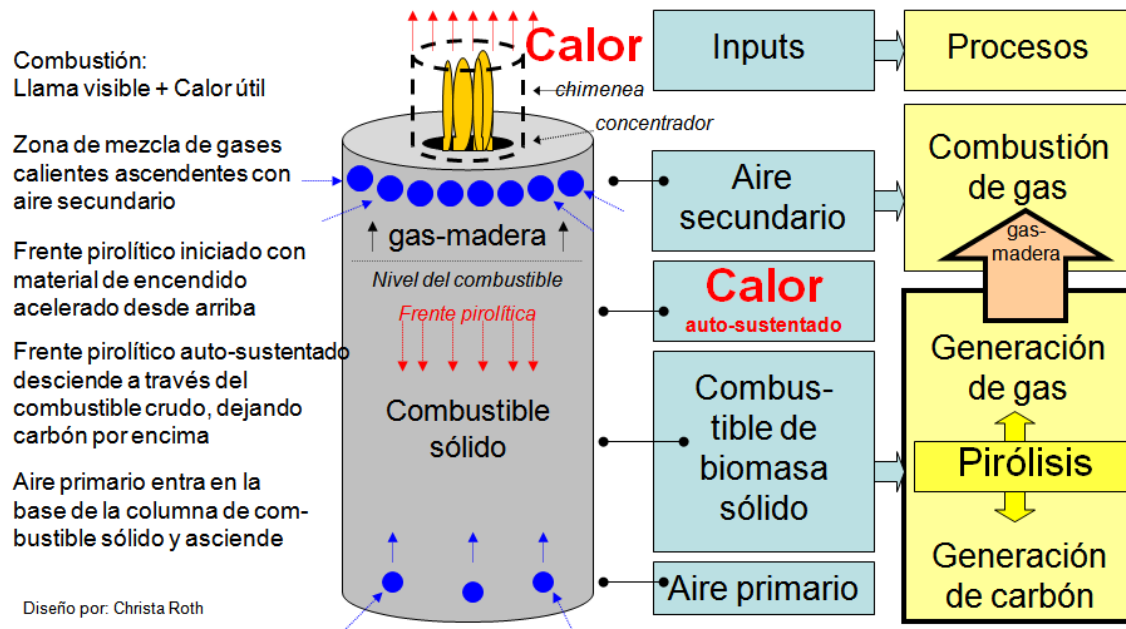
WFP (World Food Programme). 2010. *WFP and Safe Access to Firewood; Protecting and Empowering Communities*. 4 p.

World Bank. 2011. *Household Cookstoves, Environment, Health, and Climate Change; A NEW LOOK AT AN OLD PROBLEM*. 94 p.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1; Principios de la microgasificación

#### Principio básico de un gasificador pirolítico TLUD



(Roth 2011)

### Anexo 2; Materiales para la construcción de la estufa

Para la construcción de la estufa se utilizaron los siguientes materiales y herramientas;

- Materiales
  - Lámina milimétrica
  - Lámina de hierro de un octavo de pulgada
  - Tornillos broca 2 pulgadas cabeza 10
  - Remaches 3'16

- Ángulo de una y media pulgadas
- Ángulo de una pulgada
- Ceniza para aislamiento
- Chimenea de 65 pulgadas
- Plancha de hierro de 16 pulgadas de ancho por 24 pulgadas de largo
- Electrodo para soldadura 60/13
- Discos de corte para esmeriladora angular
- Discos de esmerilado para esmeriladora angular
- Herramientas
  - Taladro “Makita serie HP1640”
  - Soldadora movable marca Truper serie 300-200acc
  - Esmeriladora angular marca Dewalt 4 ½ (115 mm)
  - Maquina chipeadora trituradora
  - Equipo de seguridad

### Anexo 3; Materiales para la evaluación

Para la evaluación se utilizaron los siguientes materiales:

- PEMS (“Portable emission monitoring system”), sistema portátil de monitoreo de emisiones
- Combustible homogenizado y pesado
- Agua pesada dentro de la olla
- Barril de 50 litros vacío para sacar carbón y pesarlo
- Fósforos
- Medidor de humedad marca Extech MO260
- Termómetro para el agua marca Fluke 51 II
- Termómetro láser para la plancha marca CEN-TECH
- Cinta métrica
- Combustible para encender carbón
- Balanza marca OHAUS 2000w
- Gafas
- Guantes
- Tapa bocas
- Extinguidor

## Anexo 4; Poder calorífico de los distintos combustibles

Cuadro 4; Poder calorífico de los diferentes combustibles.

<b>Combustible</b>	<b>Poder calorífico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>
Olote	14,700	kg/kj	Residuos de cosecha
“Chips” de madera	20,817	kg/kj	Madera blanda coníferas (pino)
“Pellets” de madera	20,817	kg/kj	Madera blanda coníferas (pino)
Leña	20,817	kg/kj	Madera blanda coníferas (pino)

Para establecer el poder calorífico de las diferentes biomásas se consultó la tabla existente en la hoja de proceso de datos de Aprovecho Research Center. Esto indica la cantidad de kilo joules que tiene cada combustible por kilogramo.