

Aplicación de la microgasificación para el uso de *Cocos nucifera* como recurso energético en Indura y la comunidad de Tornabé, Honduras

Marx Lenin Nieto Ccalle

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Aplicación de la microgasificación para el uso de *Cocos nucifera* como recurso energético en Indura y la comunidad de Tornabé, Honduras

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

Presentado por

Marx Lenin Nieto Ccalle

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2016

Aplicación de la microgasificación para el uso de *Cocos nucifera* como recurso energético en Indura y la comunidad de Tornabé, Honduras

Marx Lenin Nieto Ccalle

Resumen: En Indura Beach and Golf Resort y la comunidad de Tornabé se generan grandes volúmenes de residuos sólidos con importantes proporciones de biomasa, principalmente de hojas de palma de coco. En este estudio se evaluó la aplicabilidad de la microgasificación para el aprovechamiento del potencial energético de las hojas de palma de coco. Para esto, se cuantificó la biomasa (hojas de palma de coco) que forma parte de los residuos sólidos. Se efectuó una encuesta para caracterizar la comunidad de Tornabé y determinar la disposición del uso de microgasificadores. Además, se evaluó el comportamiento de tres microgasificadores modelos T-LUD en campo como en laboratorio empleando el test WBT modificado. La cantidad de biomasa que se genera en Indura y Tornabé es de 1.2 y 5.6 tn/mes respectivamente. Más del 90% de las familias de la comunidad de Tornabé se encuentra dispuesto a adoptar esta tecnología como una alternativa para preparar sus alimentos. El modelo que presenta mejor desempeño, tanto en el Centro de Evaluación de Estufas Mejoradas (CEEM) como en la comunidad de Tela es el M2, en este modelo se logró llevar a ebullición el agua en aproximadamente 7 min, tiene una eficiencia térmica de 9.3%, y genera pérdida de energía equivalente a 7,521 KJ en el CEEM, mientras que en la comunidad de Tornabé el tiempo fue de 9 min, eficiencia térmica de 7% y pérdida de energía equivalente a 8,125.9 KJ.

Palabras clave: Biochar, biomasa, eficiencia energética, microgasificación, poder calorífico.

Abstract: Large volumes of solid waste with significant proportions of biomass, mainly coconut palm leaves, are generated in Indura Beach and Golf Resort and Tornabé community. This study, evaluated the energetic potential from coconut palm leaves for micro gasifiers application. For this, biomass (coconut palm leaves) as part of the solid waste were quantified. To characterize Tornabe's community and determine the disposition of the people in the usage of micro gasifiers, a survey was conducted. The Micro gasifier behavior was evaluated in field and laboratory with the WBT test modified. The study demonstrated that the amount of biomass generated in Indura and Tornabe was 1.2 and 5.6 tn / month respectively. More than 90% of the families in Tornabe's community are willing to adopt this technology as an alternative to prepare their food. The model that had the best performance, both in the Zamorano's Improve Cookstove Evaluation Center (ISEC) as in Tornabe's community was the M2. This model, has reached boiling point in about 7 min, has 9.3% of thermal efficiency and has generated energy loss equivalent of 7,521 KJ in the ISEC, while in Tornabe's community it has reached boiling point in 9 min, has had 7% of thermal efficiency and has generated energy loss equivalent of 8,125.9 KJ.

Key words: Biochar, biomass, calorific value, energy efficiency, micro gasification.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
4. CONCLUSIONES	17
5. RECOMENDACIONES	18
6. LITERATURA CITADA.....	19
7. ANEXOS.....	22

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Características de los microgasificadores	7
2. Cuantificación de hojas de palma de coco en Indura Beach and Golf Resort	8
3. Cuantificación de hojas de palma de coco en la comunidad de Tornabé.	8
4. Resumen de datos obtenidos en el Laboratorio de Centro de Evaluación de Estufas Mejoradas.....	10
5. Resumen de datos obtenidos en la Comunidad de Tornabé e Indura Beach and Golf Resort.....	11
6. Análisis de ANDEVA y Test Tukey	12
Figuras	Página
1. Mapa de ubicación de la comunidad de Tornabé e Indura Beach and Golf Resort.....	4
2. Esquema de vehículo recolector de biomasa en Indura.....	5
3. Esquema de carreta para recolección de residuos en la comunidad de Tornabé.....	5
4. Modelos de microgasificadores T-LUD empleados en las experimentaciones	6
5. Comportamiento de los microgasificadores en el laboratorio CEEM respecto a energía que no se aprovechó.....	13
6. Comportamiento de los microgasificadores en Indura y la comunidad de Tornabé respecto a energía que no se aprovechó	14
Anexos	Página
1. Formato para WBT modificado.....	22
2. Encuesta aplicada a la comunidad de Tornabé, Honduras	23
3. Datos de las evaluaciones realizadas en el Laboratorio del Centro de Estufas Mejoradas (CEEM) con el modelo M1.	27
4. Datos de las evaluaciones realizadas en el Laboratorio del Centro de Estufas Mejoradas (CEEM) con el modelo M2.	27

5.	Datos de las evaluaciones realizadas en el Laboratorio del Centro de Estufas Mejoradas (CEEM) con el modelo M3.	28
6.	Datos de las evaluaciones realizadas en el Indura Beach and Golf Resort y Comunidad de Tornabé con el modelo N1.	28
7.	Datos de las evaluaciones realizadas en el Indura Beach and Golf Resort y Comunidad de Tornabé con el modelo M2.	29
8.	Datos de las evaluaciones realizadas en el Indura Beach and Golf Resort y Comunidad de Tornabé con el modelo M3.	29
9.	Prueba de normalidad para datos de “Energía perdida” obtenidos en el CEEM.	30
10.	Prueba de homogeneidad de varianzas para datos de “Energía perdida” obtenidos en el CEEM.	30
11.	Análisis de ANOVA para datos de “Energía perdida” obtenidos en el CEEM	30
12.	Comparaciones múltiples empleando test Tukey para datos de “Energía perdida” obtenidos en el CEEM.	30
13.	Resumen del test Tukey para datos de “Energía perdida” obtenidos en el CEEM.	31
14.	Prueba de normalidad para datos de “Energía perdida” obtenidos en Indura y Tornabé.	31
15.	Prueba de homogeneidad de varianzas para datos de “Energía perdida” obtenidos en Indura y Tornabé.	31
16.	Análisis de ANOVA para datos de “Energía perdida” obtenidos en Indura y Tornabé.	31
17.	Análisis de test Tukey para datos de “Energía perdida” obtenidos en Indura y Tornabé.....	32
18.	Resumen de test Tukey para datos de “Energía perdida” obtenidos en Indura y Tornabé.....	32
19.	Análisis de prueba T entre los datos de los microgasificador modelo M2....	32
20.	Mujeres de la organización Colibrí con microgasificadores elaborados con latas.	33

1. INTRODUCCIÓN

La evolución de las sociedades del estadio agrícola al industrial trae consigo incrementos y diversificación en la producción de bienes y servicios, creando de este modo una importante demanda de los recursos naturales e incremento en la generación de residuos sólidos y agrícolas (Zepeda, 1995). Se entiende por residuos sólidos como aquel material desechado después de cumplir con su vida útil, que puede o no tener alguna utilidad (Jiménez, 2001). La gestión de residuos sólidos inicia con las etapas de identificación, recolección considerando también su transporte, tratamiento y disposición final de manera económica, social y ambientalmente responsable (Hemkendreis y Lehnhard, 2008). El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [UNEP], (2005) afirma que los residuos sólidos en países localizados dentro de zonas húmedas, regiones tropicales y semitropicales se caracterizan por presentar altas proporciones de biomasa residual, mientras que en zonas sujetas a variaciones estacionales significativos, donde el carbón o madera se emplean como fuente energética para cocción se ha identificado abundante presencia de cenizas.

Los métodos más comunes de disposición de residuos sólidos en América Latina son botaderos a cielo abierto, trincheras y rellenos sanitarios. En la actualidad, los productos maderables y biomasa en general son ampliamente utilizados por ser considerados fuentes modernas y limpias para generar energía (Patiño y Smith, 2008). Según los estudios realizados por Soto y Núñez (2008), los residuos agro-forestales no se aprovechan eficientemente, éstos sólo se almacenan en grandes cerros o se quema en calderas, sin poseer un mayor valor agregado. Pero en los países en vías de desarrollo, la biomasa que no reúne las características deseadas de manejabilidad se convierten en parte de los residuos sólidos que van a parar a rellenos sanitarios o botaderos.

Al realizar la combustión de biomasa se emiten gases a la atmósfera pero estos no contribuyen al aumento de los gases de efecto invernadero, debido a que el carbono que se emite forma parte de las concentraciones actuales de la atmósfera (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [IDAE], 2007). Por lo tanto, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO], (2014) considera que la mitigación de los problemas generados por estos métodos de disposición es un objetivo político del desarrollo de estrategias de bioagroenergía sostenible en varios países. Asimismo, considera que los sistemas que emplean desechos orgánicos, residuos agrícolas y forestales, ofrecen un alto potencial de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, fomento de seguridad alimentaria y energética.

Cuando no se tiene planteado un uso específico de la biomasa, ella se convierte en un problema en cuanto a su manejo. La mejor manera de aprovechar cualquier tipo de biomasa

de manera eficiente es cuando se combustiona por medio de gasificadores. En un microgasificador se puede emplear una amplia variedad de residuos orgánicos (biomasa), inclusive aquellos que no se pueden emplear en estufas (Roth, 2011). El uso de gasificadores permite que el humo que se genera de la combustión de la biomasa se queme (Anderson, Reed y Wever, 2007).

Un gasificador es un dispositivo en el cual se dan procesos termoquímicos a través de la combustión de biomasa para obtener gases combustibles con bajo poder calorífico comparado al del gas natural. (Gutiérrez, Rivadeneira y Paez, 2014). La calidad del gas producto de la gasificación está asociada al poder calorífico, cantidad de alquitrán y material particulado presente en la biomasa. (Lesme, Recio, Preston, Rodríguez y Oliva, 2008). Durante este proceso se verifican cuatro etapas relacionadas con la combustión de la biomasa que son la evaporación del agua, la pirolisis que da lugar a vapores combustibles y biocarbón (biochar), y cuando se dispone de suficiente oxígeno el biocarbón puede llegar a convertirse en ceniza quemando los vapores y gases generados con una mezcla apropiada de oxígeno (Roth, 2011).

El biocarbón es un subproducto que al ser mezclado con el suelo mejora significativamente la productividad de los cultivos y reduce la lixiviación de nutrientes (Lehmann, Guant y Rondon, 2006). Además, se ha demostrado que el biochar no llega a ser consumido en los procesos de degradación biológica como en el caso de los fertilizantes (McLaughlin, Anderson, Shields y Reed, 2009).

Existe una variedad de diseños de gasificadores, los cuales se diferencian por algunos elementos tales como: la ubicación del quemador de gas, la dirección del flujo de aire (up –draft / counterflow – tiro hacia arriba / tiro invertido, down draft / co - flow tiro hacia abajo /cofluyente, tiro cruzado), niveles de presión del gas, agente que permite la gasificación (aire natural, oxígeno y vapor de agua), método de contacto combustible/gas (lecho fijo, lecho fluidizado), escala de operación y el tamaño del dispositivo entre otros (Roth, 2011). El desempeño de estos gasificadores depende en gran medida de factores tales como tamaño de combustible, relación oxígeno-combustible, tamaño del combustible, pre calentamiento de oxígeno secundario, modo de ingreso de aire secundario (Herrera, 2010).

El modelo T-LUD, (top-lit up draft) es un microgasificador que genera en menores cantidades emisiones de gases de efecto invernadero comparadas con sistemas de combustión de biomasa tales como la cocina mejorada con cámara de combustión codo rocket (Tamara, 2012). Para poder evaluar los microgasificadores se emplearon el ensayo WBT (Water Boiling Test) que consiste en llevar a ebullición 5 litros de agua. Según Herrera (2010), al comparar estufas con cámaras de combustión T-LUD y codo rocket de una estufa Inkahuasi observó que el tiempo del test, y emisiones eran menores en la primera estufa (529 g/kg y 4,002 g/kg de CO₂ empleando leña de pino como combustible). Resultados similares se obtuvieron en ensayos realizados por Tamara (2012).

Adicionalmente, Valenzuela (2012) que realizó comparaciones en procesos de combustión de una estufa mejorada con plancha Justa 2 x 3, con combinaciones de cámaras de combustión TLUD y rocket. Empleando el protocolo WBT identificó incrementos en la combinación R/T separadas a 2.5 pulgadas con respecto a la justa tradicional de 2 x 3, en

las variables de generación de CO₂, (1,276g), combustible empleado (672g) y tiempo para llegar a 80°C (21 minutos) en el agua.

En Indura Beach and Golf Resort (Indura) y la Comunidad de Tornabé localizadas en el municipio de Tela, la fracción orgánica de los residuos sólidos generados presenta una importante proporción de hojas de palmeras de coco. El personal encargado de trasladar los residuos desde el terreno de acopio hacia el relleno sanitario de Tela afirma que las hojas de palma representan más de 50% del volumen total de residuos sólidos. Frente a esta problemática, el manejo actual que se realiza a los residuos supone un problema económico y social tanto para Indura que tiene que costear el traslado del residuo, la comunidad de Tornabé que desea que dichos residuos no se acumulen en sus tierras y el municipio de Tela.

Dentro de los convenios firmados entre el patronato de la comunidad de Tornabé y la gerencia de Ambiente del Indura se tiene estipulado que Indura se encargará de costear el traslado de los residuos que se generan en la comunidad 2 veces por semana. Sin embargo, el volumen de biomasa arbórea en especial las hojas de palma generadas en esta comunidad ocasionan gastos innecesarios en traslado debido a que un gran volumen de estos residuos está conformado por biomasa (hojas de palma y cáscara de coco) que se pueden aprovechar energéticamente en gasificadores.

Como parte de las políticas de responsabilidad social, Indura, busca mejorar la calidad de vida de las comunidades que se encuentran a su alrededor. Para esto, la introducción de sistemas de microgasificación que permitan preparar alimentos a un bajo costo resulta un proyecto de mucho interés. Este tipo de propuestas representa una alternativa para la reducción del volumen de residuos que se trasladan cada semana al relleno sanitario de la Municipalidad de Tela, sino que también se contribuye a que la misma población realice el manejo de dichos residuos como una fuente de energía para preparar alimentos.

El objetivo de este proyecto es evaluar la aplicabilidad de la microgasificación para el manejo de la biomasa residual generada en Indura y la comunidad de Tornabé, contribuyendo de esta forma a la mejora integral del plan de manejo de residuos sólidos. Para ello se propuso: i) Cuantificar la biomasa residual proveniente de las hojas de palma en ambas localidades, ii) Evaluar el desempeño de tres modelos de microgasificadores T-LUD para la combustión de las hojas de palma y iii) Evaluar la disposición de contar de la tecnología en la comunidad de Tornabé, lo cual será requerido para la implementación de la iniciativa de aprovechamiento energético de la biomasa residual.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio. El siguiente estudio se realizó en la comunidad de Tornabé, cuya población aproximada es de 2,500 habitantes (Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados [SANAA], 2015) y en Indura Beach and Golf Resort situado colindante a esta comunidad y dentro de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Jeannette Kawas. La comunidad se encuentra en el municipio de Tela, departamento de Atlántida, Honduras. Con una temperatura media anual de 26° C y una precipitación promedio anual de 2,100 mm., la elevación va desde los cero metros hasta los 100 msnm.

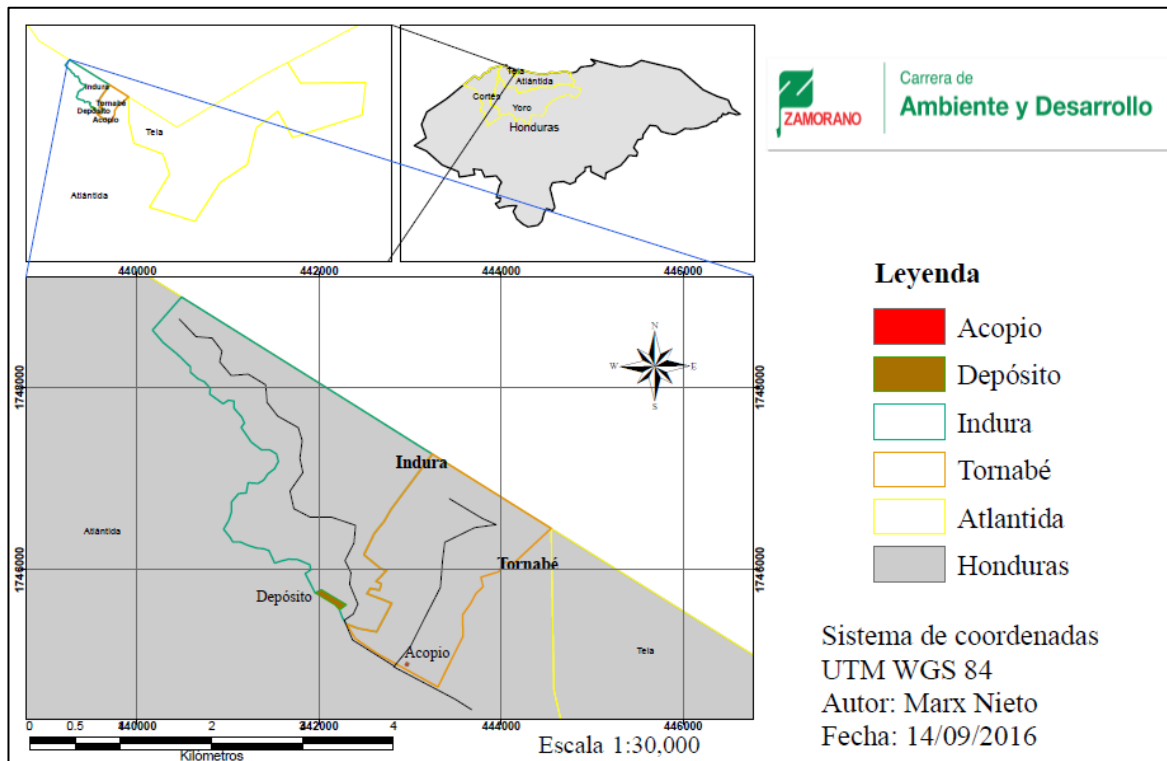


Figura 1. Mapa de ubicación de la comunidad de Tornabé e Indura Beach and Golf Resort.

Para la cumplir con los objetivos planteados se realizan las siguientes actividades.

Cuantificación de residuos de biomasa. Se cuantificó el volumen de las hojas de palmeras provenientes de las actividades de poda de mantenimiento y sanidad, registrando el peso y volumen aparente de 3 m³ ocupado en la paila del camión recolector de Indura Beach and Golf Resort. Este procedimiento se realizó en cuatro ocasiones durante un periodo de 15

días. Las muestras se dejaron expuestas a la intemperie para su secado solar durante un mes. Transcurrido este tiempo se obtuvo el peso de la biomasa seca correspondiente al volumen aparente de 3 m^3 . A partir de estos datos se proyecta el peso total de biomasa seca obtenido durante las podas de un mes, tomando en cuenta los valores promedios registrados durante el muestreo.



Figura 2. Esquema de vehículo recolector de biomasa en Indura, Atlántida, Honduras.

En la comunidad de Tornabé se cuantificó el volumen aparente de las hojas de palma de coco recogidas durante el plan de recolección y disposición de residuos sólidos. Se aplicó el mismo procedimiento de secado aplicado en Indura, obteniendo el peso de la biomasa seca correspondiente al volumen aparente de 1 m^3 (Figura 3). Esta actividad se realizó dos fases de recolección diaria por espacio de tres días. A partir de estos datos se obtiene el promedio generado por día y se proyecta la biomasa mensual conforme a la planificación de actividades de recolección.



Figura 3. Esquema de carreta para recolección de residuos en la comunidad de Tornabé.

Evaluación de tecnologías de microgasificación. Esta etapa consiste en la evaluación de eficiencias en la transferencia de calor con los modelos de microgasificadores utilizados. Se emplearon tres modelos de microgasificadores seleccionados del Centro de Evaluación de Estufas Mejoradas (CEEM). Estos microgasificadores se diferencian por sus dimensiones (Cuadro 1). La evaluación se realizó en cada uno de los entornos de estudio.

Para realizar las experimentaciones en Indura y la comunidad de Tornabé, los microgasificadores se trasladaron desde la EAP Zamorano hasta el complejo Turístico Indura Beach and Golf Resort (Indura) para realizar las experimentaciones. Para determinar el potencial y eficiencia energética se empleó el protocolo WBT modificado por Valenzuela, (2012). El protocolo WBT normal consiste en tres etapas, pero en el protocolo WBT modificado sólo se emplea la primera etapa y ésta consiste en llevar 2 litros de agua a 80°C. Las etapas complementarias del protocolo requieren el control de la temperatura del agua a valores constantes, lo cual no es posible en un microgasificador.

Para el desarrollo de los ensayos se utilizó la biomasa que se puso a secar durante un mes, para reducir al mínimo posible el contenido de humedad en un ambiente natural. Cada hoja de palmera se troceó en tamaños que faciliten su colocación en las cámaras de combustión de cada microgasificador. La cantidad de biomasa que se colocó en cada ensayo dependía del volumen que cada cámara de combustión podía contener. En los microgasificadores de mayor tamaño, se empleó en promedio 2.5 kg de biomasa, mientras que en los pequeños, se emplearon 1.5 kg.

Para poder realizar las comparaciones de los datos obtenidos en las anteriores evaluaciones, se hace necesario contar con datos obtenidos en un ambiente controlado. Por tal motivo, se replicaron las pruebas realizadas en Indura y Tornabé en el Centro de Evaluación de Estufas Mejoradas. El combustible empleado dentro del CEEM fue viruta de pino, con valores conocidos de humedad y poder calorífico, evaluando cinco réplicas con cada microgasificador. Al igual que los ensayos realizados en campo, la cantidad de biomasa empleada se encuentra asociada al tamaño de la cámara de combustión, teniendo el cuidado de garantizar la circulación de oxígeno para evitar procesos pirolíticos que derivan en el incremento de las emisiones de humo (Figura 4), la característica que diferencia a estos modelos es el volumen de biomasa que puede contener la cámara de combustión del combustible (Cuadro 1).

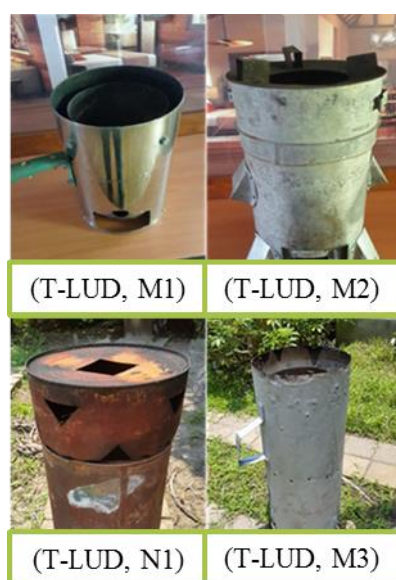


Figura 4. Modelos de microgasificadores empleados en las experimentaciones.

Cuadro 1. Características de los microgasificadores

Micro-gasificador	Altura (m)	Diámetro (m)	Volumen (L)
Modelo M1	0.18	0.14	2.9
Modelo M2	0.22	0.19	6.5
Modelo M3	0.91	0.24	41.8
Modelo N1	0.44	0.24	19.9

M1, M2, M3 y N1, Código para microgasificadores adaptados por el autor.

Caracterización de la comunidad de Tornabé. Para poder evaluar la disposición de la comunidad de contar con la tecnología que se propone, es necesario contar con información socioeconómica y los requerimientos energéticos de la comunidad. Se realizó la identificación y caracterización de la zona de estudio por medio de entrevistas, encuestas y visitas a la población de la comunidad de Tornabé. El tamaño de muestra a encuestar se determinó empleando la ecuación (1), (Fernández, 2010).

$$n = (N \times z^2 \times p \times q) / (N \times e^2 + Z^2 \times p \times q) \quad [1]$$

En donde:

Tamaño de población : N
 Proporción patrón : p, q
 Nivel de confianza: 95% : z
 Error de muestreo : e

La encuesta consta de 34 preguntas que nos permiten conocer los principales requerimiento energéticos y tecnologías empleadas para cocción de alimentos. Así mismo, permite determinar si el uso de biomasa es una fuente que facilitará la introducción de los microgasificadores en la comunidad de Tornabé.

Análisis estadístico. Los datos de la encuesta se evaluaron mediante análisis estadísticos descriptivos, que incluyeron promedios y desviación estándar. Los datos obtenidos a partir de los ensayos en los microgasificadores, se analizaron en el programa “Statistical Package for the Social Science” (SPSS versión 19.0). Se emplearon análisis estadísticos cuantitativos como el test Shapiro Wilk para determinar si los datos se comportan de manera normal. Del resultado obtenido se prosigue con pruebas paramétricas como, homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene, Análisis de Varianza (ANDEVA) de una vía, Test Tukey para los datos de cada modelo de microgasificador y lugar de ensayo, como análisis final se emplea el test T student para comparar si existe diferencia significativa entre los microgasificadores más eficientes tanto en el CEEM como en Indura, cada análisis se analizan a un nivel de significancia de 0.05. La base de datos que se empleará para realizar los análisis estadísticos consideramos como variables independientes a los modelos de los microgasificadores, mientras que la variable dependiente es la energía que se pierde por cada ensayo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuantificación de residuos de biomasa. La cuantificación de los residuos sólidos se realiza considerando el volumen que se transporta por mes en cada localidad. En Indura, el traslado de los residuos de biomasa se realiza cada 15 días. En total se transportan 12 m³ cada 15 días. En el Cuadro 2 se muestran los pesos registrados para cada muestreo, tanto en húmedo como en seco.

Cuadro 2. Cuantificación de hojas de palma de coco en Indura Beach and Golf Resort.

Análisis estadísticos	Peso húmedo (kg/3m³)	Peso seco (kg/3m³)	Peso seco (kg/m³)
Promedio	445.0	150.0	50.0
Desviación estándar	12.9	9.1	3.0

El peso promedio para 3 m³ de volumen aparente de hojas de palma de coco seca es de 150 kg. Como cada mes se trasladan 24 m³ de residuos conformados por hojas de palma, se producen 1.2 Ton/mes de biomasa aparentemente seca. En la comunidad de Tornabé, la recolección de los residuos sólidos se realiza durante cuatro días a la semana y se transportan en carretas de tracción animal al terreno de acopio. En el Cuadro 3, se muestran los pesos de las hojas en húmedo y en seco en un metro cúbico. Durante el mes se transportan aproximadamente 54 m³ de residuos conformados por hojas de palma de coco. El peso seco de un metro cúbico de hojas de palma de coco proveniente de la comunidad de Tornabé pesa aproximadamente 105 kg, por lo tanto en un mes se está transportando 5.67 tn/mes de residuo.

Cuadro 3. Cuantificación de hojas de palma de coco en la comunidad de Tornabé.

Análisis estadísticos	Peso húmedo (kg)	Peso seco (kg/m3)
Promedio	325.0	105.0
Desviación estándar	6.3	2.9

Evaluación de los microgasificadores. En el Cuadro 4 se muestra el resumen de datos que fueron obtenidos a partir de las experimentaciones realizadas, obteniéndose como resultado los cuadros adjuntos en el anexo.

Se puede observar que existen diferencias tanto en energía emitida, energía absorbida por ende en energía perdida por cada modelo de microgasificador. Estos valores se determinan empleando las ecuaciones 2 y 3.

$$EE = (A \times B) - (C \times D) - (E \times (Q \times T) + (q \times E) \quad [2]$$

$$EA = (H \times Q \times F + q \times a) \quad [3]$$

Donde:

EE: Energía emitida por cantidad de biomasa empleada en cada microgasificador (KJ)

EA: Energía absorbida por el agua durante la prueba WBT (KJ)

A: Poder calorífico de leña de pino (KJ/kg)

B: Cantidad de biomasa empleada por ensayo (kg)

C: Poder calorífico del carbón vegetal (KJ/kg)

D: Cantidad de biochar que queda después de concluir el test WBT (kg)

E: Humedad presente en la leña (kg)

Q: Calor específico del agua (KJ/kg*°C)

T: Variación de temperatura de la humedad presente en la leña (°C)

Q: Calor específico del vapor de agua (°C)

H: Cantidad de agua empleada en el test WBT (kg)

F: Variación de la temperatura en el agua empleada en el test WBT (°C)

a: Cantidad de agua evaporada (kg)

q: Calor específico de vapor de agua (KJ/kg*°C)

Cuadro 4. Resumen de datos obtenidos en el Laboratorio de Centro de Evaluación de Estufas Mejoradas.

Microgasificador T-LUD	N° de repetición	Energía emitida (KJ)	Energía absorbida (KJ)	Eficiencia Térmica (%)	Energía perdida (KJ)
Modelo M1	1	8,183.53	308.75	3.77	7,874.77
	2	8,044.13	380.08	4.72	7,664.05
	3	7,586.92	368.19	4.85	7,218.73
	4	8,064.43	408.54	5.07	7,655.89
	5	7,888.26	363.67	4.61	7,524.59
Modelo M2	1	6,858.04	762.16	11.11	6,095.89
	2	8,673.92	778.89	8.98	7,895.02
	3	7,816.28	760.48	9.73	7,055.80
	4	8,386.54	751.94	8.97	7,634.59
	5	9,680.24	755.96	7.81	8,924.28
Modelo M3	1	15,834.81	765.00	4.83	15,069.81
	2	18,085.04	800.66	4.43	17,284.38
	3	17,347.84	744.91	4.29	16,602.93
	4	16,659.99	665.21	3.99	15,994.77
	5	16,600.58	786.76	4.74	15,813.81

El modelo M3, es el microgasificador que emite más energía. Tanto el en microgasificador M2 y M3 se puede observar que la cantidad de energía absorbida son casi iguales, debido a que en estos microgasificadores el agua llegó a ebullición durante el test, mientras que en el modelo M1, la temperatura del agua no logró pasar los 70° C.

La eficiencia térmica está en función de la energía absorbida versus la energía emitida por cada microgasificador. Se puede observar que los microgasificadores M1 y M2 poseen eficiencias similares, siendo la diferencia que en uno se llegó a ebullición, mientras que en el otro no.

A partir de la ecuación (4) se determinó el poder calorífico de la hoja de palma de coco. Considerando que la cantidad de energía absorbida está en función de la cantidad de agua empleada y la cantidad que llegó a evaporarse.

$$PCp = (C \times D + E \times (Q + T) + (q \times E)) + EA/ET)/B \quad [4]$$

Dando como resultado 13348.8 KJ. Este valor se encuentra de los valores que obtuvieron Chin y Siddiqui (1999), Hsain, Zainac y Abdullah (2001), Wan y Wan (2003). Conociendo el poder calorífico de la hoja de palma de coco se procede a determinar los valores de energía perdida con los datos obtenidos en las experimentaciones realizadas en Indura y la comunidad de Tornabé (Cuadro 5).

Cuadro 5. Resumen de datos obtenidos en la Comunidad de Tornabé e Indura Beach and Golf Resort.

Microgasificador	Nº de repetición	Energía emitida (KJ)	Energía absorbida (KJ)	Eficiencia Térmica (%)	Energía perdida (KJ)
Modelo N1	1	11,753.63	690.67	0.06	11,062.96
	2	11,753.63	758.47	0.06	10,995.16
	3	11,460.37	744.24	0.06	10,716.13
	4	11,458.99	492.26	0.04	10,966.74
Modelo M2	1	9,402.90	752.61	0.08	8,650.29
	2	8,080.22	517.37	0.06	7,562.85
	3	8,080.22	615.32	0.08	7,464.90
	4	9,401.90	575.98	0.06	8,825.92
Modelo M3	1	11,754.88	735.87	0.06	11,019.02
	2	11,018.61	483.88	0.04	10,534.72
	3	12,487.04	663.04	0.05	11,824.00
	4	11,753.63	534.12	0.05	11,219.51

Al poseer un poder calorífico menor la hoja de palma, menor es la cantidad de energía que se emite en el modelo M3, a pesar de que se empleó mayor cantidad de biomasa. La cantidad de energía que se pierde en función de lo que se transmite son relativamente similares para cada lugar de ensayo. En Indura, no se empleó el modelo M1 debido a que la cámara de combustión es muy pequeña y presentaba muchas dificultades para poder encender el material.

Las principales diferencias que se encontraron al realizar estos ensayos es el tiempo en que se logra llevar a ebullición el agua empleada en el test. A medida que la llama sea más concentrada al recipiente que contiene el agua, mejor será la transferencia de calor. El modelo M3 al contar con un área mayor para portar el recipiente, genera que las llamas se desborden, provocando pérdidas significativas durante el ensayo.

En el CEEM los modelos M1 y M2 son los microgasificadores en los que se pierde menor energía (7,521 y 7,587 KJ respectivamente) durante el protocolo WBT, mientras que el modelo M3 por sus dimensiones pierde más energía (16,153 KJ) en forma de calor. En Indura y Tornabé, los modelos que generan mayor pérdida de energía son N1 y M3, (10,935 y 11,149 KJ Respectivamente), mientras que en el modelo M2 se pierde menos energía (8125 KJ) durante el protocolo WBT modificado.

Se empleó el test de Shapiro Wilk para definir si los datos se comportan de manera normal, siendo (gl=5, $P>0.714$), para los datos obtenidos en laboratorio CEEM y (gl=4, $P>0.144$) para Indura. Al ser el valor de $P>0.05$, los datos se comportan de manera normal por lo tanto para los siguiente análisis empleamos métodos paramétricos. Adicional al test de

Shapiro Wilk, se realizó un análisis de gráficos de cajas, en ella se puede observar el comportamiento de cada microgasificador en función de la energía que no se aprovechó. Finalmente se aplica la prueba de ANOVA (Cuadro 6) para sustentar estadísticamente la varianza en la eficiencia de los microgasificadores.

Cuadro 6. Análisis de ANDEVA y Test Tukey.

Lugar de evaluación	Modelo M1	Modelo M2	Modelo M3	Modelo N1	gl	p
Datos						
CEEM	^a 7587.6±251.8	^a 7521.1±934.8	^b 16153.1±747.7		5	0
Datos Indura y Tornabé		^A 8125.9±616.2	^B 11149.3±462.2	^B 10935.2±131.2	4	0

Letras iguales, no existe diferencias significativas.

Significativo cuando $P < 0.05$

El nivel de significancia obtenida en el análisis de ANOVA para los datos del laboratorio de CEEM es menor a 0.05, ($F = 199.893$, $P = 0.000$) lo que indica que las varianzas entre la energía que se pierde en cada modelo de microgasificador son diferentes. El test Tukey, confirma que si existe diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los microgasificadores M1 y M3, M2 y M3 ($P = 0.000$, para ambos casos), mientras que en entre el microgasificador M1 y M2, no existe diferencias siendo $P > 0.05$ ($P = 0.990$), (Cuadro 6). En el gráfico de cajas (Figura 5), se puede observar este comportamiento. Definiendo al microgasificador modelo M3 como poco eficiente respecto a transmisión de energía. Los microgasificadores modelos M1 y M2 generan pérdidas de energía similares, pero sólo el microgasificador modelo M2 es capaz de llevar a ebullición el agua durante el test.

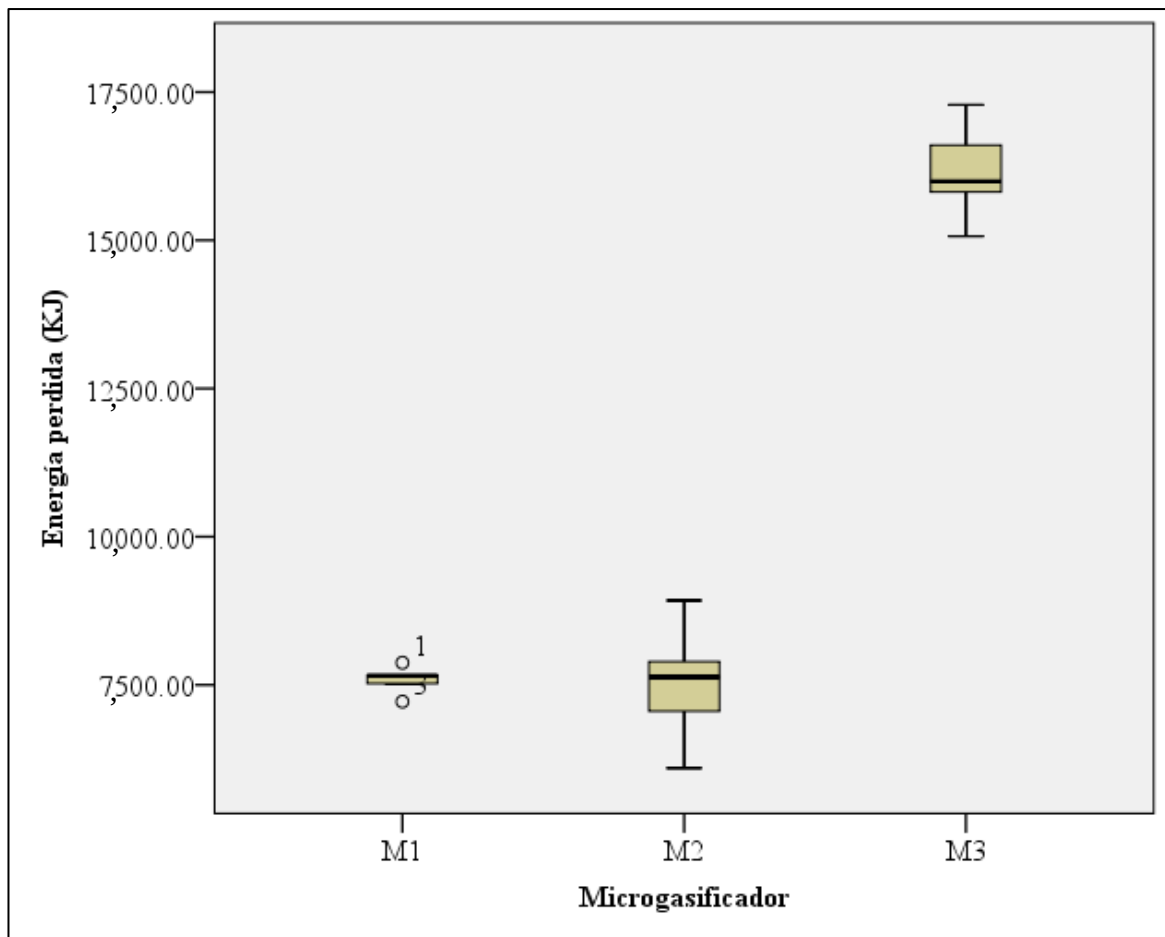


Figura 5. Comportamiento de los microgasificadores en el laboratorio CEEM respecto a energía que no se aprovechó.

El nivel de significancia obtenida en el análisis de ANDEVA para los datos obtenidos en los ensayos de Indura y Tornabé es menor a 0.05 ($F = 41.949$, $P = 0.000$), (Cuadro 6). En el gráfico de cajas (Figura 6), se puede observar este comportamiento. Definiendo que existe diferencia respecto a energía perdida por modelo de microgasificador. El test Tukey revela que la diferencia se da entre los microgasificadores N1 y M2, M2 y M3, ($P = 0.000$, para ambos casos), mientras que entre los microgasificadores N1 y M3 no existe diferencia significativa $p > 0.05$, ($p = 0.833$), entre la energía que se perdió durante la realización del protocolo WBT.

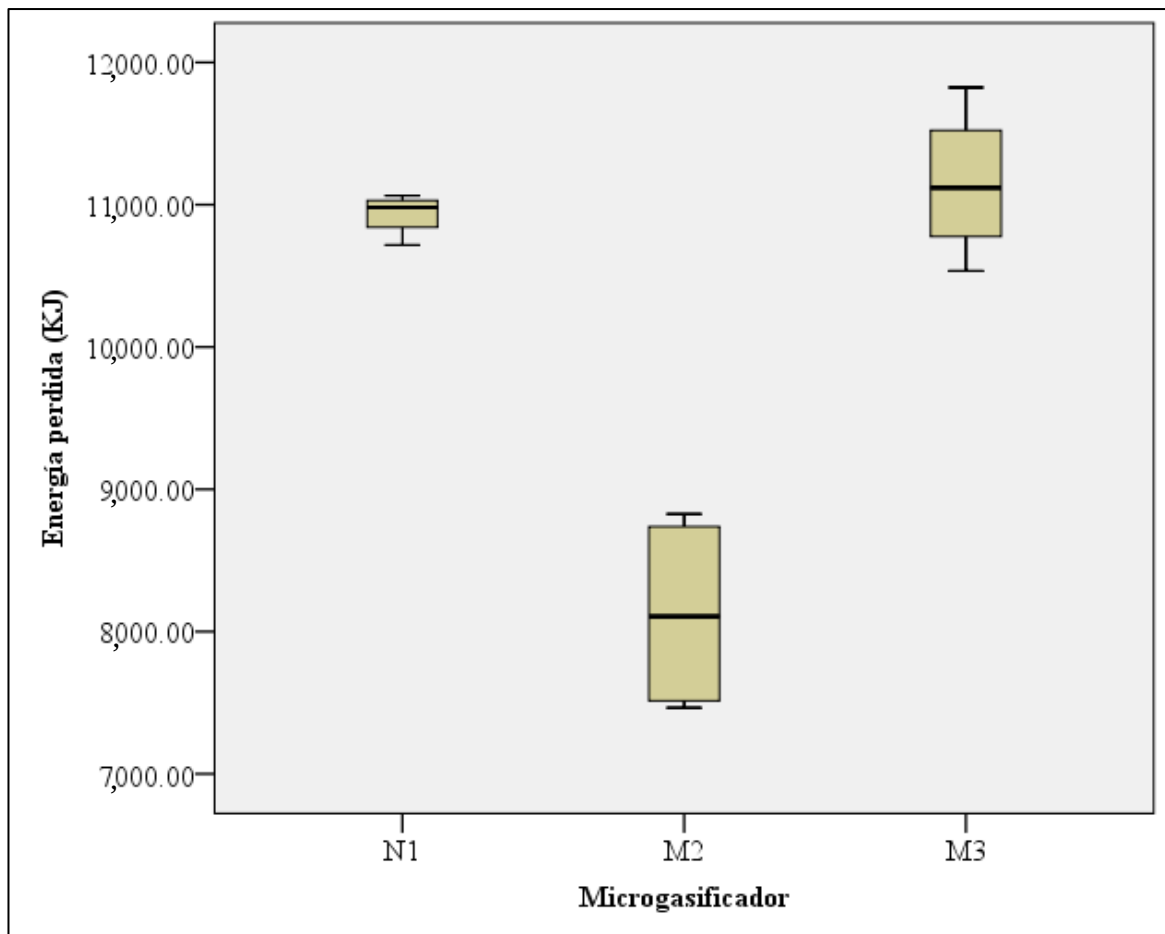


Figura 6. Comportamiento de los microgasificadores en Indura y la comunidad de Tornabé respecto a energía que no se aprovechó.

Las diferencias entre los modelos evaluados en el CEEM se deben a que las dimensiones de cada modelo son diferentes. Cada uno transmite calor de manera diferente que depende de la forma que posea la hornilla o contenedor del recipiente. El modelo M3 es el menos eficiente debido a que existe una separación considerable entre el lugar en donde se inicia la combustión de la biomasa y la superficie del recipiente del contenedor del agua.

Con el modelo M2, no existe diferencia significativa entre la energía que se perdió en los ensayos realizados en el laboratorio CEEM y las realizadas en Indura y Tornabé, mientras que con el modelo M3, sí existe diferencia significativa. La gran diferencia en el modelo M3 es muy probable que se deba al tipo de comportamiento de la biomasa dentro de la cámara de combustión. Con la viruta de pino, la biomasa se encontraba en la parte inferior muy separado de la superficie de la olla, mientras que al emplear trozos de hojas de palma de coco, su estructura generaba que se favorezca la transferencia de calor.

De los modelos M1 y M2, el más eficiente es el microgasificador M2 (9.32%), debido a que con este microgasificador se logra llevar el agua a su punto de ebullición en 6.7 minutos, mientras que con el modelo M1, la temperatura máxima alcanzada fue de 67° C. Esta

diferencia en eficiencias se debe mucho al comportamiento de la llama en cada uno. En el modelo M1, por la forma del objeto portador de la olla, se tiene gran cantidad de llamas que no se dirigen hacia la olla provocando la pérdida de energía.

Diagnóstico de la comunidad de Tornabé. A partir de la ecuación 1 y considerando las siguientes variables, se determinó la cantidad de personas a encuestar.

Tamaño de población	: $N = 2,500$
Proporción patrón	: $p = 0.3, q = (1-p) = 0.7$
Nivel de confianza: 95%	: $z = 1.96$
Error de muestreo	: $e = 5\%$

Siendo $n = 286$ habitantes.

Tomando en cuenta que el tamaño familiar de la comunidad garífuna en promedio está compuesto por 8 miembros (Bonilla y Box 2012), se encuestó a un total de 35 familias (viviendas) para recopilar las características socioeconómicas y necesidades energéticas de la comunidad. Los datos obtenidos fueron tabulados para poder determinar el potencial de implementación de la tecnología y su aceptación por las familias de la comunidad de Tornabé, Honduras.

Entre las características relevantes se obtuvo que solamente 1% de la población posee estudios superiores y generalmente el número de personas que trabajan por cada familia es de uno a dos. La principal ocupación de las mujeres es ama de casa, mientras que de los varones (13.9%) es empleado del sector privado. Un 5.6% de las familias cuenta con servicios de Internet o Cable. Todo lo anterior indica que muy pocas familias cuentan con suficientes recursos económicos.

La comunidad cuenta con servicio de energía eléctrica que llega a todos los habitantes, mientras que el servicio de agua potable sólo llega al 91% de familias de la comunidad. Sólo el 50% de la comunidad cuenta con servicio de saneamiento de aguas residuales. Un 75% de las viviendas son de bloque y sólo el 14% es de madera. La principal fuente de combustible para preparar alimentos es gas LPG, empleado por el 86.1% de las familias y sólo 13.9% emplea leña. La comunidad alega que el costo de vida actual no es favorable para emplear de forma constante el gas LPG como principal fuente de combustible, esto debido al costo de cilindro de gas, por esta razón, la leña representa la segunda fuente de combustible que emplea la comunidad.

De la encuesta también se determinó que el 100% de la población no conocía la tecnología y uso de los microgasificadores. Sin embargo, al desarrollar la estrategia de acercamiento y proporcionar las características de funcionamiento el 94.1% de las familias se mostró dispuesto a aceptar esta tecnología como parte de su cocina para preparar sus alimentos. La estrategia de acercamiento se completó con la presentación de la tecnología a la comunidad de Tornabé a través de la organización Colibrí, en donde se reunió a las amas de casa de la comunidad para desarrollar un taller que contempló el ensamblaje y construcción de pequeños microgasificadores utilizando latas de diferentes dimensiones, y la manipulación de los residuos de palma de coco para la operación de los mismos. Cada participante mostró

su aceptación y satisfacción por contar con esta tecnología. Emplear un microgasificador como fuente de energía para preparar sus alimentos en combinación con las fuentes de energía convencionales de la comunidad puede llegar a generar ahorros superiores al 50% por adquisición de combustible.

4. CONCLUSIONES

- Indura Beach and Golf Resort y la comunidad de Tornabé generan 1.2 y 5.46 toneladas de biomasa por mes equivalente a 15.96 GJ y (74.48 GJ = 20.7 MWh) de energía respectivamente, lo cual es trasladado al relleno sanitario de Tela. Este recurso aprovechado eficientemente puede cubrir los requerimientos energéticos de 28 familias (737 KWh) anualmente. Asimismo, el aprovechamiento de esta biomasa genera ahorros para Indura equivalente a L. 41,600.00 por año, por optimización del plan de manejo de residuos sólidos de ambas localidades.
- El modelo M2 presenta mejor comportamiento, tanto en el CEEM y la comunidad de Tornabé. Este modelo es funcional para uso doméstico, pero su aplicación para el tratamiento del volumen de biomasa generado en Indura, se requiere de un diseño a mayor escala que permita aprovechar la biomasa tal como se obtiene de las prácticas de poda.
- Después del taller realizado con la organización Colibrí, más del 94% de las familias encuestadas se encuentran dispuestos a contar con microgasificadores como tecnología para la cocción de alimentos. Además, consideran que las hojas de palma de coco representan una fuente de energía complementaria al gas LPG. Esto permitirá ahorrar costos en el consumo energético y mejorar el manejo de los residuos sólidos.

5. RECOMENDACIONES

- En este estudio no se realizó la evaluación de la calidad de biochar, por lo tanto se recomienda evaluar la calidad de subproducto de la microgasificación, tomando como factores los modelos de microgasificadores y la variación en el tiempo de ignición de la biomasa.
- Con las pruebas se demostró que el peso del biochar es el 25% del peso de la biomasa seca (1.5 tn/mes), por lo tanto Indura puede fomentar la creación de una microempresa que se dedique a la producción y venta de este producto. Indura cuenta con un campo de golf de 18 hoyos, cuyos suelos son los indicados para incorporar biochar.

6. LITERATURA CITADA

- Anderson, P., Reed, T. y Wever, P. (2007). Micro-Gasification: What is it and why it works. *Household Energy Network*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2016, en: [http://www.hedon.info/docs/BP53_Master\(nomarks\).pdf#page=37](http://www.hedon.info/docs/BP53_Master(nomarks).pdf#page=37)
- Bonilla, S. y Box S. (2012). Censo de buzos de Gracias a Dios, Honduras. Centro de estudios marinos. Recuperado el 19 de Noviembre de 2015, en: <http://www.utilaecology.org/assets/documents/Censo%20Buzos%20Moskitia.pdf>
- Carrillo, A., Foroughbakhch R. y Bustamante V. (2013). Calidad del carbón de *prosopis laevigata* (humb. y bonpl. Ex willd.) M.c. Johnst. Y *ebenopsis ebano* (berland.) Barneby y j.w. Grimes elaborado en horno tipo fosa. *Scielo*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2015, en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v4n17/v4n17a7.pdf>
- Chin, O. y Siddiqui, K. (1999). Charateristcs of some biomass briquettes prepared under modest die pressure. *Biomass and Energy*. Recuperado el 01 de Julio de 2016, en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953499000847>
- Fernández, P. (2010). Determinación del tamaño muestral. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, en: <https://www.fisterra.com/mbe/investiga/9muestras/9muestras2.asp>
- Gutiérrez, E., Rivadeneira, D. y Paez, N. (2014). Ingeniería conceptual, básica, de detalle y simulación para el sistema de aprovechamiento del alquitrán en el proceso de gasificación up-draft con capacidad de 50 Kg/H utilizando los RSU para el INER. Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Ecuador. Recuperado el 10 de Oct de 2015, en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8165/1/AC-MEC-ESPE-047848.pdf>
- Hemkendreis, B. y Lehnhard, Y. (2008). Solid Waste Managment. Dübendrot: Department of Water and Sanitation in Developing Countries. Eawag. Recuperado el 18 de Noviembre de 2015, en: http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/EAWAG%20SANDEC%202008%20Module%206%20Solid%20Waste%20Management%20Lecture.pdf
- Herrera J. (2010). Fabricación y evaluación de la estufa T-LUD con diferentes tipos de combustibles. (Tesis de pregrado). Biblioteca digital de Zamorano. Recuperado el 18 de Noviembre de 2015, en: <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/539/1/T2947.pdf>

- Husain, Z., Zainac, Z. y Abdullah, Z. (2002). Briquetting of palm fibre and shell the processing of palm nuts to palm oil. *Biomass and bioenergy*. Recuperado el 1 de Julio de 2016, en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953402000223>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2007). Energía de la Biomasa. Manuales de energías renovables. España. Recuperado el 24 de Septiembre de 2016, en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10374_Energia_de_la_biomasa_07_28e17c9c.pdf
- Jiménez, B. (2001). La contaminación Ambiental en México. Recuperado el 17 de Noviembre de 2015, en: https://books.google.hn/books?id=8MVxlyJGokIC&dq=residuos+s%C3%B3lidos+definicion&source=gbp_navlinks_s
- Lehmann, J., Guant, J. y Rondon, M. (2006). Black Carbon Sequestration in Soil-A New Frontier. Pennsylvania, US. Recuperado el 07 de Noviembre de 2015, en: <http://soilcarboncenter.k-state.edu/conference/USDA%20Abstracts%20html/Abstract%20Lehmann.htm>
- Lesme, R., Recio, A., Preston, T., Rodríguez, L. y Oliva, L. (2008). Análisis termodinámico de un gasificador “Ankur” modelo WBG-10 trabajando con diferentes biomasa. Redalyc. Universidad de Oriente. Cuba. Recuperado el 29 de Octubre de 2015, en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543757009>
- McLaughlin, H., Anderson, P., Shields, F. y Reed, T. (2009). All Biochars are Not Created Equal, and How to Tell Them Apart. North American Biochar Conference. Boulder, CO. Recuperado el 29 de Octubre de 2015, en: <http://www.biochar-international.org/sites/default/files/All-Biochars--Version2--Oct2009.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). El planteamiento sobre bioenergía y seguridad alimentaria. Guía de implementación. Recuperado el 24 de Septiembre 2016, en: <http://www.fao.org/docrep/019/i3672s/i3672s.pdf>
- Patiño J. y Smith R. (2008). Consideraciones sobre la dendroenergía bajo un enfoque sistémico. Recuperado el 17 de Noviembre de 2015, en: <http://www.redalyc.org/pdf/1470/147020257003.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2005). Solid Waste Management. Recuperado el 17 de Noviembre de 2015, en: <http://www.unep.org/ietc/Portals/136/SWM-Vol1-ParM1-Chapters1to3.pdf>

- Roth, C. (2011). Micro-gasification: Cookin with gas from biomass. Recuperado el 17 de Noviembre de 2015, en: http://lists.bioenergylists.org/pipermail/estufas_lists.bioenergylists.org/attachments/20140305/9f00378b/attachment-0006.pdf
- Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (2015). Boletín de prensa. Inauguración de proyecto de conexión de unidades húmedas al sistema de alcantarillado sanitario de la comunidad de Tornabé. Recuperado el 17 de Noviembre de 2015, en: http://sanaa.hn/noticias_sanaa/inauguracion_Proyecto_en%20Tornabe_Tela.pdf
- Soto, G. y Nuñez, M. (2008) Fabricación de Pellets de Carbonilla, usando asserrin de *Pinus radiata* (D. Don), como material aglomerante. Maderas, *Ciencia y tecnología*. 10, 129-137. Recuperado el 10 de Noviembre de 2015, en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2008000200005&script=sci_arttext
- Tamara, F. (2012). Fabricación y evaluación de estufa mejorada de plancha 16” x 24”, con cámara de combustión microgasificadora (T-LUD), para comparación con codo rocket. Recuperado el 10 de Noviembre de 2015, en: <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/900/1/T3332.pdf>
- Valenzuela J. (2012). Efecto de combinar un T-LUD en una estufa mejorada con plancha Justa 2 x 3. Biblioteca de Zamorano. Recuperado el 22 de Noviembre de 2015, en: <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/906/1/T3398.pdf>
- Wan, W. y Wan, W. (2003). Comparison on pore development of activated carbon produced from palm shell and coconut shell. Recuperado el 01 de Julio de 2016, en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852403002955>
- Zepeda, F. (1995). El manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y El Caribe. Recuperado el 17 de Noviembre de 2015, en: <http://65.182.2.242/docum/crid/Enero2005/CD1/pdf/spa/doc10204/doc10204-a.pdf>

7. ANEXOS

Anexo 1. Formato para WBT modificado.

WBT Modificado para T-LUD				
Testeador	Marx	Marx	Marx	Marx
Gasificador				
Fecha de la prueba				
Número de prueba				
Combustible				
Humedad del combustible (%)				
Peso del combustible (Kg)				
Temperatura ambiente (°C)				
Temperatura del agua (°C)				
Peso del agua (Kg)				
Peso de la olla (Kg)				
Peso del recipiente para biochar (Kg)				
Hora de inicio				
Hora de fin de la prueba				
Tiempo llegada al punto de ebullición (min)				
Temperatura máxima del agua (°C)				
Peso de olla con agua (kg)				
Peso del agua final (Kg)				
Peso de agua evaporada (kg)				
Peso de la ceniza o biochar + recipiente (Kg)				
Peso de ceniza o biochar (Kg)				
Tiempo total de la prueba (min)				

Anexo 2. Encuesta aplicada a la comunidad de Tornabé, Honduras.

**ENCUESTA SOBRE NECESIDAD ENERGETICA PROVENIENTE DE
BIOMASA EN LAS VIVIENDAS DE LA COMUNIDAD DE TORNABÉ,
HONDURAS**

Buen día, soy estudiante de la EAP Zamorano. Estoy realizando esta encuesta con el fin de poder determinar las necesidades energéticas por fuentes de biomasa dentro de sus hogares y negocios. Todos los datos que nos proporcione serán de mucha utilidad para plantear propuestas de uso para la biomasa proveniente de las hojas de palma. Siéntase libre de responder la encuesta. No existen respuestas buenas ni malas.

EAP ZAMORANO

-
- A. ENCUESTADOR: _____
B. N° DE ENCUESTA: _____
C. COMUNIDAD: _____
D. MUNICIPIO: _____
E. DIRECCIÓN DE LA VIVIENDA: _____
F. FECHA DE ENTREVISTA: _____
-

SECCIÓN 1: INFORMACIÓN SOCIODEMOGRÁFICA:

1. Nombre de la persona entrevistada: _____
2. Género de la persona entrevistada: (1) Masculino (2) Femenino (3) otro
3. Edad de la persona entrevistada: _____ años
4. Cuantas personas viven en su hogar: _____ total.
5. Sabe leer y escribir: (1) Si (2) No
6. Nivel educativo:
(1) Ninguno (2) Primario incompleto (3) Primario completo (4)
Secundario incompleto (5) Secundario completo (6) Universitario
7. ¿Cuántos miembros de la casa trabajan?: _____
8. ¿Cuál es su principal ocupación?

Actividad	Hombre	Mujer
1 Agropecuario (agricultura y ganadería)		
2 Forestal		
3 Comercio		
4 Trabajo ocasional no agrícola		
5 Ama de casa		
6 Jubilado, desempleado, discapacitado		
7 Empleado público		
8 Empleado sector privado		

9 Otro Especifique

9. ¿Qué tiempo invierte en su principal ocupación?

Días a la semana _____ meses al año: _____

10. ¿Cuál es la segunda fuente de ingreso de su familia?

	Actividad	Hombre	Mujer
1	Agropecuario (agricultura y ganadería)		
2	Forestal		
3	Comercio		
4	Trabajo ocasional no agrícola		
5	Ama de casa		
6	Jubilado, desempleado, discapacitado		
7	Empleado público		
8	Empleado sector privado		
9	Otro Especifique		

11. ¿Con que facilidades y servicio públicos cuenta en su hogar?

- (1) Luz eléctrica (2) Agua Potable (3) Servicio de saneamiento
(4) Teléfono fijo (5) Acceso a Internet (6) otro: _____

12. Material de construcción de la vivienda.

- (1) Madera (3) Ladrillo (5) Otro
(2) Adobe (4) Bloque

13. Número de cuartos: ____

14. Número de personas que viven en su casa

- (1) 3-5 (3) 9-12 (5) Otro: ____
(2) 6-8 (4) 12 a más

SECCION 2: REQUERIMIENTO ENERGÉTICO

15. ¿Cuál es la principal fuente de combustible que emplea para cocinar?

- (1) Leña (5) Carbón vegetal (7) Otro:
(2) Gas L.P.G. (6) Residuos de cosecha
(3) Electricidad
(4) Kerosene (gas)

16. ¿Cuál es la segunda fuente de combustible que emplea para cocinar?

- (1) Leña (5) Carbón vegetal (8) Otro:
(2) Gas L.P.G. (6) Residuos de cosecha
(3) Electricidad
(4) Kerosene (gas) (7) Ninguna

17. ¿Qué tipo de fogón o estufa utiliza principalmente para cocinar sus alimentos?

- (1) Fogón 3 piedras (3) Estufa mejorada (5) Estufa eléctrica
(2) Fogón tradicional (4) Estufa de gas

18. ¿Para qué utiliza su estufa principal?
- (1) Cocinar sólo para consumo humano (3) Preparar todas las comidas del día
(2) Cocinar para consumo de animales (4) Para el negocio
19. ¿Desde hace cuánto tiempo utiliza la misma estufa o fogón?:_____
20. ¿En qué lugar de la vivienda cocina los alimentos?
- (1) En la cocina (sólo cocinar) (3) En la sala, comedor
(2) En un cuarto que utiliza también para dormir (4) En el patio, corredor u otro lugar
21. El lugar para cocinar es de uso:
- (1) Exclusivo del hogar
(2) Compartido con otros hogares
22. ¿Cada cuánto tiempo le da mantenimiento a su estufa?
- (1) Diario (3) Quincenal (5) Anual
(2) Semanal (4) Mensual (6) Nunca
23. ¿Cuál es el estado de la estufa?
- (1) Muy malo (3) Regular (5) Muy buena
(2) Malo (4) Buena
24. La estructura de la estufa cuenta con:
- (1) Hornillas: Si_____ No_____ (3) Chimenea: Si_____ No_____
(2) Plancha: Si_____ No_____ (4) Horno: Si_____ No_____
25. ¿De qué material están hechas las ollas de su cocina?
- (1) Metal (3) Barro
(2) Teflón (4) Otro:_____
26. ¿Cuál es el material predominante de los utensilios en la cocina?
- (1) Metal (2) Barro
27. ¿Posee algún negocio que requiere el uso de energía o calor para su funcionamiento?
- Si_____
- No_____

EVALUACIÓN DE ACEPTACION DE GASIFICADORES

28. ¿Conoce usted un gasificador? Si___ No___

29. ¿Sabe usted cómo funciona un gasificador? Si___ No___

Explicación de gasificador: Un gasificador es una tecnología que aprovecha todo tipo de biomasa como combustible para poder producir energía más limpia que los fogones tradicionales, en ella se da un uso más eficiente de la biomasa. Se produce calor a temperaturas muy altas lo que permite cocinar mucho más rápido y reduce significativamente la emisión de gases que contaminan el medio ambiente y que son dañinos para la salud.

El inconveniente principal que tiene es que el paquete de combustible que se emplea, es de un sólo uso, es decir que sólo se puede realizar el cambio o adición de combustible al gasificador cuando éste ha sido totalmente consumido. El tiempo de producción de energía varía de acuerdo al tamaño del gasificador y biomasa que estemos empleando para su funcionamiento.

30. Para poder aprovechar esta tecnología es necesario poder realizar el secado de la materia seca para lo cual uno ha de tener que acondicionar un lugar para poder secar las hojas, por lo tanto, ¿Estaría usted dispuesto a realizar el acondicionamiento del combustible?

Sí___ No___ ¿Por

qué?_____

31. ¿Usted estaría dispuesto a aceptar esta tecnología? Si___ No___

¿Por qué?:_____

32. Si la biomasa que se utiliza sólo produce energía continua durante 30 minutos.

¿Aceptaría esta tecnología? Si___ No___

¿Por qué?:_____

33. ¿Cuál es el tiempo mínimo de funcionamiento del gasificador para que pueda ser aceptado en su hogar?

(1) 20 minutos

(3) 40 minutos

(5) Más de 1 hora

(2) 30 minutos

(4) 1 hora

34. ¿Qué otro factor a parte del tiempo influiría en su decisión de aceptar esta tecnología?

(1) Tipo de biomasa a emplear

(2) Facilidad de conseguir combustible para el gasificador

(3) Facilidad de uso del gasificador

(4) Facilidad de mantenimiento del gasificador

(5) Otro:_____

Anexo 3. Datos de las evaluaciones realizadas en el Laboratorio del Centro de Estufas Mejoradas (CEEM) con el modelo M1.

Ensayo	P1	P2	P3	P4	P5
Biomasa inicial (Kg)	0.50	0.50	0.47	0.50	0.50
Biochar (Kg)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
Biomasa consumida (Kg)	0.45	0.45	0.42	0.45	0.44
% de Contenido de Humedad	12.11	12.11	12.11	12.11	12.11
Humedad de la leña (Kg)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Tem Ambiente °C	29.30	23.90	27.20	23.40	24.30
ΔT° (°C) de la leña	66.80	72.20	68.90	72.70	71.80
Masa de agua (kg)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
T° inicial (°C) del agua	24.90	25.00	24.50	23.80	24.50
T° final (°C) del agua	58.00	65.00	62.00	67.20	62.00
ΔT° (°C) del agua	33.10	40.00	37.50	43.40	37.50
Aagua evap (Kg)	0.014	0.02	0.02	0.02	0.02
Total energía emitida (KJ)	8183.53	8044.13	7586.92	8064.43	7888.26
Energía absor (KJ)	308.75	380.08	368.19	408.54	363.67
Eficiencia Térmica (%)	3.77	4.72	4.85	5.07	4.61
Energía perdida	7874.77	7664.05	7218.73	7655.89	7524.59

Anexo 4. Datos de las evaluaciones realizadas en el Laboratorio del Centro de Estufas Mejoradas (CEEM) con el modelo M2.

Ensayo	P1	P2	P3	P4	P5
Biomasa inicial (Kg)	0.67	0.78	0.67	0.67	0.67
Biochar (Kg)	0.20	0.21	0.17	0.15	0.11
Biomasa consumida (Kg)	0.47	0.57	0.50	0.52	0.56
% de Contenido de Humedad	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Humedad de la leña (Kg)	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08
Tem Ambiente °C	25.50	23.60	24.00	24.60	24.90
ΔT° (°C) de la leña	70.60	72.50	72.10	71.50	71.20
Masa de agua (kg)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
T° inicial (°C) del agua	24.60	25.30	24.80	24.20	24.80
T° final (°C) del agua	96.20	96.20	96.20	96.20	96.20
ΔT° (°C) del agua	71.60	70.90	71.40	72.00	71.40
Aagua evap (Kg)	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07
Total energía emitida (KJ)	6858.04	8673.92	7816.28	8386.54	9680.24
Energía absor (KJ)	762.16	778.89	760.48	751.94	755.96
Eficiencia Térmica (%)	11.00	9.00	10.00	9.00	8.00
Energía perdida	6095.89	7895.02	7055.80	7634.59	8924.28

Anexo 5. Datos de las evaluaciones realizadas en el Laboratorio del Centro de Estufas Mejoradas (CEEM) con el modelo M3.

Ensayo	P1	P2	P3	P4	P5
Biomasa inicial (Kg)	1.00	1.20	1.18	1.00	1.00
Biochar (Kg)	0.11	0.17	0.18	0.09	0.09
Biomasa consumida (Kg)	0.89	1.03	1.00	0.91	0.91
% de Contenido de Humedad	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Humedad de la leña (Kg)	0.12	0.15	0.14	0.12	0.12
Temperatura Ambiente °C	23.30	24.20	23.10	27.20	26.00
ΔT° (°C) de la leña	72.80	71.90	73.00	68.90	70.10
Masa de agua (kg)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
T° inicial (°C) del agua	24.80	22.70	24.50	24.20	24.90
T° final (°C) del agua	96.20	96.20	96.20	88.00	96.20
ΔT° (°C) del agua	71.40	73.50	71.70	63.80	71.30
Agua evaporada (Kg)	0.07	0.08	0.06	0.06	0.08
Total energía emitida (KJ)	15834.81	18085.04	17347.84	16659.99	16600.58
Energía absorbida (KJ)	765.00	800.66	744.91	665.21	786.76
Eficiencia Térmica (%)	5.00	4.00	4.00	4.00	5.00
Energía perdida	15069.81	17284.38	16602.93	15994.77	15813.81

Anexo 6. Datos de las evaluaciones realizadas en el Indura Beach and Golf Resort y Comunidad de Tornabé con el modelo N1.

Ensayo	P1	P2	P3	P4
Biomasa inicial (Kg)	2.00	2.00	2.20	2.20
Biochar (Kg)	0.50	0.50	0.60	0.60
Biomasa consumida (Kg)	1.50	1.50	1.60	1.60
% de Contenido de Humedad	15.00	15.00	15.00	15.00
Humedad de la leña (Kg)	0.30	0.30	0.33	0.33
Tem Ambiente °C	36.00	36.00	37.00	36.00
ΔT° (°C) de la leña	64.00	64.00	63.00	64.00
Masa de agua (kg)	2.00	2.00	2.00	2.00
T° inicial (°C) del agua	29.00	31.00	30.00	32.00
T° final (°C) del agua	98.00	100.00	100.00	80.00
ΔT° (°C) del agua	69.00	69.00	70.00	48.00
Agua evaporada (Kg)	0.05	0.08	0.07	0.04
Total energía emitida (KJ)	11753.63	11753.63	11460.37	11458.99
Energía absorbida (KJ)	690.67	758.47	744.24	492.26
Eficiencia Térmica (%)	5.88	6.45	6.49	4.30
Energía perdida	11062.96	10995.16	10716.13	10966.74

Anexo 7. Datos de las evaluaciones realizadas en el Indura Beach and Golf Resort y Comunidad de Tornabé con el modelo M2.

Ensayo	P1	P2	P3	P4
Biomasa inicial (Kg)	1.60	1.50	1.50	1.60
Biochar (Kg)	0.40	0.40	0.40	0.40
Biomasa consumida (Kg)	1.20	1.10	1.10	1.20
% de Contenido de Humedad	15.00	15.00	15.00	15.00
Humedad de la leña (Kg)	0.24	0.23	0.23	0.24
Tem Ambiente °C	36.00	36.00	36.00	35.00
ΔT° (°C) de la leña	64.00	64.00	64.00	65.00
Masa de agua (kg)	2.00	2.00	2.00	2.00
T° inicial (°C) del agua	29.00	35.00	30.00	29.00
T° final (°C) del agua	100.00	86.00	90.00	87.00
ΔT° (°C) del agua	71.00	51.00	60.00	58.00
Agua evaporada (Kg)	0.07	0.04	0.05	0.04
Total energía emitida (KJ)	9402.90	8080.22	8080.22	9401.90
Energía absorbida (KJ)	752.61	517.37	615.32	575.98
Eficiencia Térmica (%)	8.00	6.00	8.00	6.00
Energía perdida	8650.29	7562.85	7464.90	8825.92

Anexo 8. Datos de las evaluaciones realizadas en el Indura Beach and Golf Resort y Comunidad de Tornabé con el modelo M3.

Ensayo	P1	P2	P3	P4
Biomasa inicial (Kg)	2.00	2.50	2.50	2.00
Biochar (Kg)	0.50	0.75	0.70	0.50
Biomasa consumida (Kg)	1.50	1.75	1.80	1.50
% de Contenido de Humedad	15.00	15.00	15.00	15.00
Humedad de la leña (Kg)	0.30	0.38	0.38	0.30
Tem Ambiente °C	37.00	37.00	36.00	36.00
ΔT° (°C) de la leña	63.00	63.00	64.00	64.00
Masa de agua (kg)	2.00	2.00	2.00	2.00
T° inicial (°C) del agua	31.00	33.00	37.00	32.00
T° final (°C) del agua	100.00	80.00	100.00	85.00
ΔT° (°C) del agua	69.00	47.00	63.00	53.00
Agua evaporada (Kg)	0.07	0.04	0.06	0.04
Total energía emitida (KJ)	11754.88	11018.61	12487.04	11753.63
Energía absorbida (KJ)	735.87	483.88	663.04	534.12
Eficiencia Térmica (%)	6.00	4.00	5.00	5.00
Energía perdida	11019.02	10534.72	11824.00	11219.51

Anexo 9. Prueba de normalidad para datos de “Energía perdida” obtenidos en el CEEM.

Variable	Microgasificador	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	P
Energía perdida	Modelo M1	0.947	5	0.714
	Modelo M2	0.992	5	0.988
	Modelo M3	0.988	5	0.974

Anexo 10. Prueba de homogeneidad de varianzas para datos de “Energía perdida” obtenidos en el CEEM.

Estadístico de Levene	gl 1	gl 2	p
2.373	2	12	0.135

Anexo 11. Análisis de ANOVA para datos de “Energía perdida” obtenidos en el CEEM.

Evaluación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	2.465E8	2	1.232E8	199.893	0.000
Intra-grupos	0.739E8	12	0.006E8		
Total	2.539E8	14			

Anexo 12. Comparaciones múltiples empleando test Tukey para datos de “Energía perdida” obtenidos en el CEEM.

(I) Micro-gasificador	(J) Micro-gasificador	Diferencia de medias (I-J)	p	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Modelo M1	Modelo M2	66.490	0.99	-1,258.36	1,391.34
	Modelo M3	-8,565.53*	0.00	-9,890.38	-7,240.69
Modelo M2	Modelo M1	-66.490	0.99	-1,391.34	1,258.36
	Modelo M3	-8,632.02*	0.00	-9,956.87	-7,307.18
Modelo M3	Modelo M1	8,565.53*	0.00	7,240.69	9,890.38
	Modelo M2	8,632.02*	0.00	7,307.18	9,956.87

*La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Anexo 13. Resumen del test Tukey para datos de “Energía perdida” obtenidos en el CEEM.

Microgasificador	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Modelo M2	5	7,521.11	
Modelo M1	5	7,587.60	
Modelo M3	5		16,153.14
Sig.		0.99	1.00

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Anexo 14. Prueba de normalidad para datos de “Energía perdida” obtenidos en Indura y Tornabé.

Variable	Microgasificador	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	P
Energía perdida	Modelo N1	0.858	4	0.252
	Modelo M2	0.820	4	0.144
	Modelo M3	0.989	4	0.952

Anexo 15. Prueba de homogeneidad de varianzas para datos de “Energía perdida” obtenidos en Indura y Tornabé.

Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
6.669	2	9	0.017

Anexo 16. Análisis de ANOVA para datos de “Energía perdida” obtenidos en Indura y Tornabé.

Evaluación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	P
Inter-grupos	22,770,973.95	2	11,385,486.97	41.94	0.000
Intra-grupos	2,442,694.37	9	271,410.48		
Total	25,213,668.33	11			

Anexo 17. Análisis de test Tukey para datos de “Energía perdida” obtenidos en Indura y Tornabé.

(I) Micro-gasificador	(J) Micro-gasificador	Diferencia de medias (I-J)	P	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Modelo N1	Modelo M2	*2,809.25	0.000	1,780.73	3,837.78
	Modelo M3	-214.06	0.833	-1,242.58	814.45
Modelo M2	Modelo N1	*-2,809.25	0.000	-3,837.78	-1,780.73
	Modelo M3	*-3,023.32	0.000	-4,051.84	-1,994.79
Modelo M3	Modelo N1	214.05	0.833	-814.45	1,242.58
	Modelo M2	*3,023.32	0.000	1,994.79	4,051.84

Anexo 18. Resumen de test Tukey para datos de “Energía perdida” obtenidos en Indura y Tornabé.

GASIFICADOR	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Modelo M2	4	8,125.99	
Modelo N1	4		10,935.24
Modelo M3	4		11,149.31
Sig.		1.00	0.83

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Anexo 19. Análisis de prueba T entre los datos de los microgasificador modelo M2.

		Prueba de Levene		Prueba T para la igualdad de medias					
		F	P	t	gl	p	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
								Inferior	Superior
Energía emitida	*	.003	0.96	0.3	7.0	0.8	159.44	-969.83	1,288.72
	**			0.3	6.6	0.8	159.44	-984.84	1,303.73

* Se han asumido varianzas iguales

** No se han asumido varianzas iguales

Anexo 20. Mujeres de la organización Colibrí con microgasificadores elaborados con latas.

