

**Fabricación y evaluación de eficiencia y
emisiones de briquetas a base de residuos
agrícolas como alternativa energética al uso
de leña**

Luis Alberto Gamarra Ramos

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2010

ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE

Fabricación y evaluación de eficiencia y emisiones de briquetas a base de residuos agrícolas como alternativa energética al uso de leña

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

Presentado por

Luis Alberto Gamarra Ramos

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2010

Fabricación y evaluación de eficiencia y emisiones de briquetas a base de residuos agrícolas como alternativa energética al uso de leña

Presentado por:

Luis Alberto Gamarra Ramos

Aprobado:

Timothy R. Longwell, M.Sc.
Asesor principal

Arie Sanders, M.Sc.
Director
Carrera de Desarrollo Socioeconómico
y Ambiente

Reyna Guzmán, Ing.
Asesora

Raúl Espinal, Ph. D.
Decano Académico

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

RESUMEN

Gamarra Ramos, LA. 2010. Fabricación y evaluación de eficiencia y emisiones de briquetas a base de residuos agrícolas como alternativa energética al uso de leña. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 35p.

La briqueta es una tecnología que utiliza residuos agrícolas como base para su fabricación, siendo una alternativa energética al uso de leña. Desde 1992 The Legacy Foundation inició el estudio y experimentación de esta tecnología en varios países del mundo. Mediante el uso de los manuales de esta fundación se desarrollaron las herramientas para la fabricación de briquetas de diferentes mezclas. Posteriormente para determinar la eficiencia y emisiones se compararon distintos tipos de briquetas con la leña de pino. A través de la prueba del agua hirviendo (WBT) se evaluó la eficiencia y usando el sistema portátil de medición de emisiones (PEMS) se evaluó las emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono y micro partículas. Estas pruebas se realizaron en las estufas mejoradas Justa 2x3 y Eco Fogón, además de la estufa tradicional y en el fogón de tres piedras. La pre-evaluación demostró que las briquetas no funcionan en las estufas mejoradas y en la estufa tradicional. Por lo que, las evaluaciones finales se realizaron en fogón de tres piedras. En los resultados finales la briqueta de tipo aserrín y papel fue la de mayor eficiencia frente a los demás tipos de briquetas e incluso a la leña de pino. Adicionalmente el tipo de briqueta con menor cantidad de emisiones de monóxido de carbono y micro partículas también fue la de aserrín y papel. Sin embargo, la leña de pino presento la menor cantidad de emisiones totales. Las briquetas compuestas a base de pasto demostraron la menor eficiencia.

Palabras clave: briquetas, emisiones, prueba del agua hirviendo.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	6
4. RESULTADOS.....	11
5. CONCLUSIONES	25
6. RECOMENDACIONES	26
7. LITERATURA CITADA.....	27
8. ANEXOS.....	29

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro	Página
1. Resultados de la etapa de pre-evaluación	12
Figura	Página
1. Tiempo de ebullición del agua según el tipo de briqueta y leña.....	16
2. Velocidad de combustión según el tipo de briqueta y leña.....	17
3. Eficiencia térmica según el tipo de briqueta y leña	18
4. Consumo específico según el tipo de briqueta y leña.....	18
5. Consumo específico a temperatura corregida según el tipo de briqueta y leña.....	19
6. Potencia de fuego según el tipo de briqueta y leña.....	20
7. Equivalente consumido según el tipo de briqueta y leña.....	20
8. Factor de emisión de monóxido de carbono según el tipo de briqueta y leña	22
9. Factor de emisión de dióxido de carbono según el tipo de briqueta y leña	23
10. Factor de emisión de micro partículas según el tipo de briqueta y leña	23
Anexo	Página
1. Imágenes de las etapas del estudio	29
2. Cuadros de variables obtenidas al realizar la prueba del agua hirviendo WBT	31
3. Emisiones de CO ₂ , CO y PM.....	34

1. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el mundo un promedio de tres mil millones de personas utilizan leña como combustible para fines de cocina y calefacción, de los cuales dos mil millones de personas se encuentran en áreas rurales y suburbanas (SHE, 2004). En América Latina y el Caribe cada año se consume 254 millones de m³ de leña (FAO, 1999). De manera que los más afectados resultan ser las personas que habitan en zonas rurales principalmente las mujeres y niños que ahora tienen que recorrer mayor distancia para recolectar leña, generando problemas sociales y ambientales (FAO, 1981).

La leña es el combustible más antiguo y barato del mundo. La gran demanda ha llevado que en algunos lugares haya escasez de leña. La tecnología aplicada por Legacy Foundation tiene la finalidad de usar residuos agrícolas para generar briquetas como alternativa al uso de leña. El fin práctico de esta tecnología es dar el máximo aprovechamiento a la biomasa como combustible existente en lugares donde no hay accesibilidad a leña y donde su costo es elevado. Esta tecnología pretende disminuir la presión sobre los bosques y aprovechar de mejor manera todos los residuos que se generan en las actividades agrícolas e industriales.

Desde el año 1992 hasta el año 2003 Legacy Foundation y sus socios han realizado estudios sobre el uso de la tecnología de briquetas en países asiáticos, africanos y latinoamericanos (Perú, Nicaragua y Haití) en ambientes rurales y suburbanos. Por la escasez y la poca accesibilidad la tecnología de las briquetas está orientada a sustituir el uso de la leña. En los lugares donde se desarrolló la tecnología de las briquetas se ha reducido el consumo de leña y se ha dado mayor aprovechamiento a los residuos que generan las actividades agrícolas y de la industria maderera (Legacy Foundation, 2003).

1.2 JUSTIFICACIÓN Y LÍMITES DEL ESTUDIO

El estudio permitió generar mayor conocimiento e información sobre la tecnología de las briquetas aplicada por Legacy Foundation (ver el anexo 1). Posteriormente analizó distintos tipos de residuos para determinar si son adecuados para la fabricación de briquetas, y evaluar cuáles son las mezclas de mayor eficiencia y cuales son las emisiones que generan durante la combustión.

La información recolectada por Legacy Foundation está basada en observaciones de campo y experiencias de las personas que aplican la tecnología de las briquetas. En la

información no se encontraron estudios de aplicación de protocolos de evaluación de eficiencia de las briquetas, como la prueba del agua hirviendo (WBT). Tampoco estudios de medición de emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y micro partículas (PM). Esta información es necesaria para medir variables que permitan comparar las briquetas con otros combustibles. A través de este estudio se indagó más sobre la tecnología de las briquetas, las aplicaciones y herramientas que se usan para implementarla y así poder generar información nueva con diversas mezclas. Se probaron en estufas que se utilizan en la región Latinoamericana y se determinó si funcionan.

La mayor limitante del estudio fue no contar con suficientes materiales bibliográficos tradicionales que nos revelen datos y experiencias de la aplicación de la tecnología de las briquetas. Por esta razón se utilizan manuales y materiales digitales como tecnología nueva y la experiencia adquirida de Legacy Foundation, para entender mejor el tema de briquetas.

Con el presente estudio se pretendió lograr que un mayor número de personas conozcan sobre la tecnología de las briquetas a través de este documento, el cual estará disponible en el centro de Certificación de Estufas Mejoradas de Zamorano. Este documento permite ser utilizada como herramienta de capacitación y el uso de las briquetas sea extendido a personas y entidades que lo requieran. Se generó un documento de recetas que nos permitió determinar cuál de las mezclas es más factible como alternativa al uso de leña tradicional y aprovechar los residuos de actividades ganaderas, agrícolas y plantas de procesamiento de madera.

1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo general del estudio fue fabricar y evaluar la eficiencia y las emisiones de las briquetas a base de residuos agrícolas. Los objetivos específicos del estudio fueron los siguientes:

- Fabricar la prensa de briquetas y sus moldes para la elaboración de briquetas.
- Elaborar las briquetas con mezclas de diferentes proporciones de materiales como estiércol, pastos, aserrín, acícula de pino y papel.
- Evaluar y comparar la eficiencia y emisiones de los diferentes tipos de briquetas con leña de pino en las estufas mejoradas Justa 2x3 y Eco Fogón, el fogón tradicional y en el fogón de 3 piedras.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El uso excesivo de leña está generando una crisis social y ambiental en los países en desarrollo. Cerca de 2 mil millones de personas usan leña frente a la escases de combustibles fósiles tradicionales. 100 millones de personas no tienen acceso a la leña. En África el 40% de las necesidades energéticas se satisfacen con leña, muchos países subsaharianos han tenido más de tres cuartas partes de su cubierta forestal agotados (Stanley, 2003). La degradación forestal en América Latina y el Caribe entre 1990 y 1995 alcanzó a 29 millones de hectáreas (FAO, 1999).

2.1 LAS BRIQUETAS

Según The Legacy Fundation (2003) las briquetas son combustibles compactados hechos a base de residuos agrícolas y comerciales como las malezas, aserrín, hojas, cartón, cascarilla de arroz, y desecho de papel. Es una tecnología probada en muchos países como Malawi, Nicaragua, Haití, Perú entre otros. Las personas que utilizan briquetas están aprovechando sus beneficios al ahorrar tiempo y energía, proteger el medio ambiente y generar ingresos por medio de su fabricación y comercialización. Las briquetas tienen alto potencial como alternativa al uso de leña. Además de la rapidez de fabricación a costos bajos, pueden ser adaptadas y aplicadas a diferentes entornos. La importancia de esta tecnología es el uso de residuos para remplazar la leña y proteger los recursos forestales que se encuentran en constante degradación.

Stanley (2003) indica que la fabricación de briquetas a través de esta tecnología reduce problemas de erosión del suelo, la desertificación, la degradación de bosques y mejora la salud al proporcionar una combustión más limpia. También brinda oportunidades de crear microempresas, en la recolección de materiales y en la fabricación de las briquetas.

Los resultados del programa de fabricación de briquetas indican que éstas pueden ser competitivas frente a los combustibles tradicionales en su uso para la calefacción y la cocción de alimentos. Son competitivos debido a los elevados costos de estos combustibles tradicionales y la poca accesibilidad que tienen las personas del ámbito rural y urbano (Shakya *et al.*, 2003).

Según Grover (1996), la fabricación de briquetas es una tecnología que todavía tiene que conseguir una fuerte implantación en muchos países en desarrollo debido a las limitaciones técnicas vinculadas a la falta de conocimiento para adaptar est tecnología a las condiciones locales.

Shakya *et al.* (2003) indica que las briquetas no pueden quemar de manera eficiente en una estufa convencional de leña, ya que las propiedades de combustión de las briquetas son diferentes al de madera. Las estufas para quemar briquetas requieren de diseños adaptados que se deben desarrollar de acuerdo a las posibilidades de cada lugar.

2.2 LA PRUEBA DEL AGUA HIRVIENDO

La prueba del agua hirviendo (“The Water Boiling Test” WBT) es un protocolo desarrollado para simular el proceso de cocción, que ayuda a los diseñadores de estufas a comprender la transferencia de energía del combustible a la olla y al producto final en este caso el alimento. Se puede realizar en la mayoría de estufas del mundo. Esta prueba no pretende sustituir otras formas de evaluar una estufa, sin embargo, es un método sencillo que permite evaluar las estufas hechas en diferentes lugares para diferentes propósitos. Esta prueba es un test estandarizado y reproducible, pero tiene puntos fuertes y débiles que debemos comprender (Bailis *et al.*, 2007a).

Mediante la WBT se puede entender el comportamiento de cualquier estufa o combustible para tener un mejor diseño de la estufa y nos permite predecir más o menos cuanto se utilizara de combustible durante la cocción. Sin embargo, el test también tiene debilidades, ya que solo se trata de una aproximación de lo real. El test se debe realizar en condiciones controladas y tratar que todas las repeticiones tengan condiciones similares para que las diferencias de las variables sean mínimas (Bailis *et al.*, 2007a).

Existen otros protocolos que nos ayudan a comprender cómo se cocinan los alimentos cuando lo prueban pobladores locales en una comunidad, se la llama prueba de cocción controlada “Controlled Cooking Test” (CCT) ha sido diseñada paralelamente con la WBT (Bailis *et al.*, 2007a). Así mismo hay un tercer protocolo que es la prueba de rendimiento de cocina “Kitchen Performance Test” (KPT), el cual compara el consumo de combustible entre una estufa mejorada y una tradicional. El KPT ha sido diseñado para ser utilizado junto al WBT y el CCT. (Bailis *et al.*, 2007b).

Para el estudio se decidió usar el WBT por los siguientes motivos: se trata de una prueba de fácil aplicación, utiliza agua en las fases de evaluación y se trata de una prueba de ambiente controlado lo cual permite una mayor veracidad de los resultados. El KPT y el CCT son pruebas que permite al evaluador interactuar con las personas de las comunidades mientras que el WBT se trata de una evaluación de laboratorio.

El WBT esta compuesto por tres fases. Sin embargo, antes de comenzar con estas fases es necesario haber pesado el combustible, conocer su humedad, el peso de la olla, el peso del recipiente para el carbón y ceniza, y el peso del material para encender que puede ser un combustible diferente al evaluado. Posteriormente damos inicio a las diferentes fases:

- 1) Prueba de arranque en frío de alta potencia: La prueba empieza con una estufa a temperatura ambiente, éste utiliza combustible que ha sido pre-pesado para hervir cinco litros de agua en una olla normal como se utilizaría en cualquier hogar. Una vez llegue el agua al punto de ebullición se toman los datos de peso del agua mas la olla,

del recipiente con ceniza que se obtenga, el tiempo total de combustión cuando llega al punto de ebullición. Después se reemplaza el agua hervida con otros 5 litros de agua en otra olla a temperatura ambiente para llevar a cabo el siguiente paso.

- 2) Prueba de arranque en caliente de alta potencia: La prueba se lleva a cabo cuando la estufa aún está caliente, se trata del mismo procedimiento anterior, excepto que ahora se realiza con la estufa caliente.
- 3) Prueba de fuego lento: La prueba proporciona la cantidad de combustible requerida para cocinar a fuego lento o mantener una temperatura menor a 3° C de la temperatura de ebullición durante 45 minutos. Este paso simula el tiempo de cocción de las leguminosas y legumbres comunes de algunos lugares del mundo (Aprovecho, 2009).

2.3 SISTEMA PORTÁTIL DE MEDICIÓN DE EMISIONES

El sistema portátil de medición de emisiones (“Portable Emissions Monitoring” PEMS) es un instrumento de medición, que permite cuantificar las emisiones de los combustibles mediante la recolección, medición y análisis de emisiones tales como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y micro partículas (PM).

Es necesario recopilar datos de los contaminantes que se liberan sin los efectos de la ventilación y la dilución en el aire de una cocina. Se considera que la eficiencia de una estufa está relacionada con la cantidad de emisiones que genera. Las emisiones por cada tarea completada y las emisiones por kilogramo de combustible consumido permite calcular el factor de eficiencia (Aprovecho, 2008). Este instrumento fue desarrollado por “Aprovecho Research Center”, mediante su colaborador “Stovtec Emissions Solutions”.

Aprovecho (2008) después de largos años pudo completar este instrumento valioso para la determinación de contaminantes a la atmósfera. El proceso de recolección de las emisiones es sencillo, mediante una campana y un extractor se recolecta una muestra que es conducido a la caja de sensores que mediante la computadora y un software registra el flujo y concentraciones en tiempo real de las emisiones (MacCarty, 2008).

Durante las pruebas en el laboratorio es posible observar en tiempo real lo que sucede cuando se agrega más combustible a la estufa y cuando hay variación en el fuego. En la pantalla de la computadora se observan las oscilaciones de las emisiones en una gráfica de comparación. Esta gráfica también permite observar los momentos de elevadas concentraciones de las partículas y de los gases, lo cual puede servir como enseñanza para el diseño de nuevas estufas y el uso de determinados combustibles (Aprovecho, 2008).

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

Para la fabricación de las diferentes herramientas, elaboración de las briquetas y evaluación de la eficiencia y emisiones, el estudio se realizó en la Unidad Forestal de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, en el área del Centro de Certificación de Estufas Mejoradas, localizado a una altitud de 800 m.s.n.m. en el Valle del Yeguaré departamento de Francisco Morazán, en el Km 30 de la carretera Tegucigalpa-Danli.

3.2 ETAPAS

Este proyecto constó de cuatro etapas: etapa de construcción, etapa de fabricación de briquetas, etapa de pre-evaluación y etapa de evaluación.

3.2.1 Etapa de construcción

En esta etapa se realizó la construcción de las distintas herramientas para la fabricación de las briquetas. Se utilizó el manual de construcción proporcionado por “Legacy Foundation”, donde se detalla los pasos, medidas y sugerencias para la construcción de la prensa y los moldes que se requieren para la fabricación de las briquetas. Durante este proceso se usaron las instalaciones y herramientas de carpintería de la Empresa Forestal de Zamorano.

La prensa es una estructura hecha de madera con soporte de tornillos y bisagras de tubo metálico. Por otra parte los moldes para la fabricación de briquetas están elaborados de tubo de PVC, un pistón de madera y separadores metálicos.

3.2.2 Etapa de fabricación de briquetas

En esta etapa se fabricaron los distintos tipos de briquetas, a diferentes proporciones de residuos, para determinar su funcionalidad, ya que no hay recetas en la literatura que indiquen las proporciones óptimas de elaboración de las briquetas. Estos residuos son

- Estiércol de ganado lechero (unidad de ganado lechero EAP)
- Pasto Bahía (*Paspalum notatum*)
- Aserrín (Empresa Forestal)

- Acícula de pino (Plantaciones forestales de Zamorano)
- Papel periódico (función de aglutinante para las briquetas, obtenido del Centro Eco Zamorano)

Se fabricaron briquetas con cada uno de los residuos de manera independiente y en diferentes proporciones de mezclas. Para la fabricación de briquetas se siguieron los siguientes pasos:

- 1) Acumulación de residuos: Para realizar el proceso de fabricación de briquetas se acumularon los residuos que generan las diferentes empresas de Zamorano.
- 2) Secado de residuos: El secado de materiales se realizó al aire libre, en una tarima diseñada especialmente para acelerar este proceso.
- 3) Picado de materiales: El picado es un proceso importante en la fabricación de briquetas. Es desarrollado de acuerdo a los residuos que se utilicen en las mezclas. Algunos pueden ser más picados que otros, de acuerdo a la capacidad de amarre que tengan los materiales. Por ejemplo, cuando se usa aserrín se debe mezclar con otro material que contenga capacidad de amarre para convertirse en una briketa. Hay dos formas de poder picar o reducir el tamaño de los materiales, una es por medio de morteros que golpean el material hasta obtener el tamaño adecuado (0.5 cm a 1 cm), lo cual implica esfuerzo físico; y la otra forma es usando picadoras manuales o eléctricas. Para el estudio, se utilizó una picadora manual de pastos de marca Shindaiwa, para reducir el tamaño del pasto y la acícula de pino. En esta última se requirió de más picado y para fines de la investigación se utilizó una licuadora doméstica, ya que no se contaba con la picadora manual diseñada por Legacy Foundation. Posteriormente al picado de los residuos existen dos opciones, hacer la descomposición parcial del residuo o usar aglutinante para compactar las mezclas.
- 4) Descomposición parcial de residuos: Es una técnica que se aplica a residuos como el pasto. Esto se realiza con el fin de que las fibras presentes en los organismos vegetales se desprendan redistribuyéndose al azar para que actúen como uniones entre ellos y formar la masa sólida que se convertirá en una briketa (Legacy Foundation, 2003). En el proceso de fabricación se usó esta técnica para la descomposición parcial de pasto, para hacer una comparación con el pasto normal sin descomponer. La descomposición se realizó en una bolsa plástica negra de 5 m de largo por 1 m de ancho, vertiéndose pasto picado y agua para luego amarrarlo por ambos lados, hasta alcanzar un punto de descomposición, que al hacer una prueba manual de compactado no se desmorone y no regrese a su estado normal. Se debe tener especial cuidado en que este punto no se pase, ya que crearía el humus siguiendo un compostaje normal. Este punto de descomposición se alcanza cuando las fibras logran separarse parcialmente del material expresivo y se tiene que observar constantemente. Probablemente tome algunas semanas dependiendo del material, en el estudio tomé cuatro semanas alcanzar este punto.

- 5) Dosificar para hacer las mezclas: Se hicieron varias mezclas de diferentes proporciones de residuos durante el proceso de fabricación para determinar cuál de ellos se fabrica en mayor cantidad para la evaluación final.
- 6) Mezclar con agua o aglutinante: En este paso cuando los materiales están en un proceso de descomposición parcial no es necesario usar aglutinante. Como se explicó, el proceso de descomposición ayuda a juntar los materiales. En los demás materiales el papel periódico reciclado se usó como aglutinante, lo cual ayudo en todas las mezclas.
- 7) Vaciar en el molde: Se realiza de una manera uniforme para que los materiales se distribuyan de una forma homogénea.
- 8) Prensar las mezclas: Esto se realizó con la prensa de madera que se elaboró en la primera etapa del proyecto.
- 9) Secado de las briquetas: Las primeras mezclas las briquetas se secaron en una estufa eléctrica marca “Hotpoint” a 200° C para acelerar el proceso. Debido a la gran cantidad de mezclas de briquetas que se usaron durante la etapa de pre-evaluación, en la etapa de evaluación se necesitaban mayor cantidad de briquetas para completar la prueba. Éstas se secaron al aire libre después de fabricarlas en cantidad. El secado bajo sombra y con circulación constante de aire en Zamorano se da entre tres semanas en el pasto y acícula a cuatro semanas en el aserrín.

3.2.3 Etapa de pre-evaluación

La etapa de pre-evaluación fue parte de los resultados finales, aquí se llegó después de fabricar diferentes tipos de briquetas. Para la investigación se realizaron mezclas de 1 kg por tipo, con el fin de tener varios tipos de briquetas para ser pre-evaluados. Esta etapa es una evaluación rápida de las briquetas, para determinar dos aspectos importantes y para no desarrollar en vano la evaluación final. Es una etapa donde se analizan las mezclas a diferentes porcentajes. Los dos aspectos importantes a medir son:

- 1) Prueba física. Las briquetas tienen un molde ya establecido, parecido a un aro, la prueba física consistió en que éstas se mantengan estructuralmente al ser manipulado durante la fabricación, el transporte y cuando estén secos. Se calificó de la siguiente manera:
 - Excelente. Cuando la estructura es lo suficientemente estable, es decir, manipulable al momento de ser fabricado y duro cuando está seco, y que no se rompa con facilidad.
 - Regular. Cuando la estructura tuvo una mediana estabilidad, es decir, regularmente manipulable al momento de ser fabricado, y que al momento de estar seco sea duro, se desmorone ligeramente, o se rompa con dificultad.

- Malo. Cuando la estructura no fue estable, es decir, vuelve más de la tercera parte de su tamaño normal, y no es manipulable fácilmente al momento de ser fabricado, que cuando este seco se desmorone y se rompa con facilidad al manipularlo o transportarlo.

2) Prueba de encendido. El encendido de las briquetas depende mucho de la ventilación o flujo de aire del lugar: En este caso esta prueba se realizó sin mucha ventilación en un ambiente casi controlado para que no cambiase el efecto de las pruebas. Esta prueba consistió en medir la facilidad que tienen las briquetas para encender al colocar una cama de madera de pino y ocote (para todos se utilizaron pesos iguales de cama). Se califico de la siguiente manera:

- Enciende. Cuando al quemarse la cama las briquetas quedan encendidas hasta consumirse o durante un buen tiempo. Esta prueba se realizó juntando más de de dos briquetas.
- No enciende. Cuando al consumirse la cama no se enciendan las briquetas o se enciendan y se apaguen sin quemar completamente.

Para que el tipo de briketa pase a la etapa de evaluación, éste tendrá que tener una calificación de prueba física excelente, y un encendido que se realice con facilidad. Adicionalmente se tomó en cuenta la cantidad de aglutinante (papel) que utilice.

3.2.4 Etapa de evaluación

La etapa de evaluación se realizó en el Centro de Certificación de Estufas Mejoradas de Zamorano, bajo condiciones controladas. En esta etapa se evaluó la eficiencia y emisiones de las diferentes mezclas de briquetas. Estas evaluaciones se hicieron en dos estufas mejoradas y en dos que fueron las siguientes:

- La estufa mejorada Justa 2x3.
- La estufa mejorada Eco Fogón.
- El fogón tradicional.
- Fogón de tres piedras.

La evaluación de eficiencia se determino por el WBT modificado, es decir, sólo se utilizo la primera fase donde se arranca con la estufa totalmente en frío y termina la prueba cuando el agua llega al punto de ebullición. En esta prueba se determinaron las siguientes variables:

- 1) Tiempo de ebullición (minutos): Es el tiempo donde se llega al punto de ebullición, el cual es de 96. 9° C en Zamorano.
- 2) Velocidad de combustión (g/min): Es la medida del rango de consumo de leña para lograr hervir el agua en un recipiente. Es calculado dividiendo el equivalente del combustible consumido entre el tiempo de prueba.

- 3) Eficiencia térmica (%): La eficiencia es una de las variables más comunes en la WBT. Está relacionada con la transferencia de energía del combustible a la olla. Sin embargo, la medición de la transferencia de energía del combustible a la olla es incompleta, hay una tergiversación de la eficiencia térmica.
- 4) Consumo específico de combustible (g/litro): El consumo específico puede ser definido como una medida de la cantidad de combustible requerida para hacer hervir un litro de agua, empezando con la estufa fría.
- 5) Consumo específico a temperatura corregida (g/litro): Durante el día las variaciones del clima afectan la temperatura inicial del agua, lo cual tiene que ser corregida para tener uniformidad en los resultados finales. Esta sección indica el consumo de madera a una sola temperatura de inicio y una sola temperatura de ebullición. Este cambio es de 75° C (25° C hasta 100° C). la corrección es un factor que normaliza el cambio de temperatura observado llevándolo a una estándar.
- 6) Potencia de fuego (watts): Es una relación entre la energía de la madera que consume la olla por unidad de tiempo. Se considera la humedad que tiene la madera.
- 7) Equivalente de combustible consumido (gramos): Nos indica la cantidad de combustible que se quemó tomando en cuenta dos factores: (1) la energía necesaria para eliminar la humedad de la madera y (2) la cantidad de combustible sin quemar.

Durante la prueba del WBT se utilizaron dos ollas, una para el agua y otra para pesar los residuos de ceniza y carbón. Se utilizó un termómetro digital marca Fluke modelo 52, un medidor de humedad marca Extech modelo M0250 y una balanza electrónica digital marca Ohaus modelo V21. La evaluación de las emisiones totales se determinó mediante el Portable Emissions Monitoring System PEMS.

4. RESULTADOS

Al tratarse de un trabajo y una nueva experiencia en el estudio de las briquetas a nivel de Honduras, este estudio ayudó a tener una perspectiva amplia de lo que puede ser el uso de residuos agrícolas para la fabricación de briquetas, y más adelante mediante tecnologías avanzadas se puedan desarrollar de una manera eficiente.

4.1 RESULTADOS DURANTE LA ETAPA DE FABRICACIÓN

Cuando se comparó el pasto sin descomposición parcial y pasto con proceso de descomposición parcial se tuvo un resultado cualitativo. Cuando se realizó la primera fabricación de briquetas con pasto sin descomposición, se pensó que habría una masa compacta sin problemas para su fabricación y traslado, sin embargo, esto resultó contrario a lo esperado. El pasto seco sin descomponer al momento de ser picado y luego mezclado con agua para la fabricación, pierde su estructura y no conforma una masa compacta. Se necesita de un aglutinante para que no pierda la forma y sea manipulable.

Al igual que Legacy Foundation la única forma que el pasto no necesite un aglutinante para mantener su estructura es mediante la descomposición parcial. Las briquetas que se fabricaron a través de este proceso mantuvieron una buena estructura.

4.2 RESULTADOS DE LA ETAPA DE PRE-EVALUACIÓN

En los resultados de la etapa de pre-evaluación (Cuadro 1) presentaron todos los tipos de briquetas que se fabricaron para determinar cuales de ellas pasaban a la siguiente etapa. Para que estas pasaran a la etapa de evaluación necesitaban tener calificaciones de excelente en la prueba física y que pudiesen encender.

Solamente se utilizó pasto con descomposición parcial en el tipo de briketa 100% pasto descomposición parcial, en los demás tipos se uso pasto sin descomposición. En todos los casos el papel actuó como aglutinante.

Cuadro 1. Resultados de la etapa de pre-evaluación

n°	Tipo de briqueta	Prueba física (Excelente/regular/malo)	Prueba de encendido (Enciende/no enciende)
1	100% estiércol	excelente	no enciende
2	80% estiércol + 20% aserrín	excelente	no enciende
3	60% estiércol + 40% aserrín	excelente	no enciende
4	40% estiércol + 60% aserrín	regular	no enciende
5	80% acícula + 20% papel	excelente	enciende
6	60% acícula + 40% papel	excelente	enciende
7	40% acícula + 60% papel	excelente	enciende
8	40% papel + 60% pasto	regular	no enciende
9	60% papel + 40% pasto	excelente	no enciende
10	40% papel + 60% aserrín	excelente	enciende
11	60% papel + 40% aserrín	excelente	enciende
12	20% papel + 80% aserrín	malo	enciende
13	20% almidón + 80% aserrín	malo	no enciende
14	40% almidón + 60% aserrín	regular	enciende
15	60% almidón+ 40% aserrín	regular	enciende
16	20% papel + 50%pasto + 30% aserrín	excelente	enciende
17	60% acícula + 20% aserrín + 20% pasto	regular	enciende
18	20% acícula + 40% aserrín + 40% pasto	malo	enciende
19	20% acícula + 20% aserrín + 60% pasto	regular	enciende
20	20% papel + 40% pasto + 40% acícula	excelente	no enciende
21	20% papel + 60% pasto + 20% acícula	excelente	no encienda
22	20% papel + 20% pasto + 60% acícula	regular	enciende
23	100% pasto en descomposición parcial	excelente	no enciende
24	25% papel + 40% acícula + 35% aserrín	excelente	enciende
25	20% papel + 40% estiércol + 40% aserrín	excelente	no enciende

Los tipos de briquetas que se pre-evaluaron y cumplieron con las pruebas físicas y de encendido fueron:

- 80% acícula + 20% papel
- 40% acícula + 60% papel
- 40% papel + 60% aserrín
- 60% papel + 40% aserrín
- 20% papel + 50% pasto + 30% aserrín
- 25% papel + 40% acícula + 35% aserrín

Sin embargo, se seleccionaron aquellos con menor porcentaje de papel, ya que se buscó usar la menor cantidad posible de aglutinante, por ser difícil de conseguir. Los dos tipos de briquetas que pasaron la prueba física pero no la prueba de encendido se escogieron

con fines comparativos, ya que The Legacy Foundation (2003) indica que el pasto ha sido usado en los diferentes lugares donde ha experimentado. Estos dos tipos fueron:

- 20% papel + 40% pasto + 40% acícula
- 100% pasto de pasto en descomposición parcial

Los tipos de briquetas que se evaluaron en la etapa final son:

- 80% acícula + 20% papel
- 40% papel + 60% aserrín
- 20% papel + 50% pasto + 30% aserrín
- 25% papel + 40% acícula + 35% aserrín
- 20% papel + 40% pasto + 40% acícula
- 100% pasto de pasto en descomposición parcial.

Legacy Fundation (2003) evaluó briquetas a base de estiércol animal donde obtuvieron buenos resultados. Sin embargo, no precisan a que se refieren con estos, ya que no se encontró evaluaciones usando protocolos y el PEMS. En la etapa de pre-evaluación se ensayó con briquetas de estiércol animal al 100% y mezclas de diferentes proporciones con aserrín, llegando a tener buenos resultados en la prueba física por su buena estructura, pero se obtuvieron resultados desfavorables en la prueba de encendido. Este tipo de briqueta se consume lentamente pero sin producir llama, carbonizándose y generando abundante humo hasta el final.

Se quemó estiércol animal al 100% sin convertirla en briqueta, es decir se recolectó estiércol seco del campo. En este caso se observó poca llama al aplicarle aire. Las briquetas de estiércol al 100% y en diferentes proporciones no funcionan por estar compactados y por la mala circulación interna de aire.

En la fabricación de briquetas con acícula de pino se consideró varios tamaños de corte para la etapa de pre-evaluación. A menor tamaño de corte la briqueta es más compacta y la combustión es más lenta, a diferencia de usar cortes grandes. El tamaño de llama en el primer caso es más corto y con una combustión más completa. Sin embargo, obtener un corte más pequeño es difícil con maquinas manuales, es por eso que para la evaluación final se escogió un corte intermedio (0.25 cm a 1 cm).

En el tipo de briqueta con pasto en descomposición parcial se obtuvo una estructura compacta de fácil manipulación durante la fabricación y el traslado. Este es importante porque se puede utilizar como aglutinante natural en mezclas donde no se requiera de papel.

4.3 RESULTADOS DE LA ETAPA DE EVALUACIÓN

La etapa de evaluación se realizó bajo condiciones controladas a todas las pruebas para tener uniformidad en los resultados. El principal factor que se controló fue el viento debido a que este tiene la mayor influencia en las variables. No se aplicó ningún tipo de

aireación a las briquetas, es decir, cuando se apagaron se esperaba dos minutos o se acomodaban las briquetas para que por sí solo pudiese reactivarse el fuego. Hubo casos donde el fuego se reactivó y casos en los que no.

4.3.1 Evaluación en las estufas mejoradas Eco Fogón y Justa 2x3

En estas dos estufas mejoradas las briquetas no funcionaron. En ambos casos la boca de las estufas sólo permitía la entrada de una briqueta. Fue necesario encender la briqueta externamente y luego introducirla a la boca. El proceso de encendido externo de las briquetas es complicado, ya que no se encienden fácilmente y se necesita mucho material como olote y leña para el encendido. En algunos tipos de briquetas aunque hubo llama, las llamas se apagaron al introducirlas a la boca de las estufas mejoradas.

De acuerdo con Legacy Foundation las briquetas son “animales sociales”, es decir, que funcionan cuando se queman más de dos briquetas por la circulación de aire que existe entre las ellos. En las estufas mejoradas Eco Fogón y Justa 2x3 la cámara de combustión es pequeña, donde solo entra una briqueta. Es por eso que la combustión de briquetas en estos tipos de estufas no funcionó.

4.3.2 Evolución en el fogón tradicional

Se realizó en este modelo, ya que la cámara de combustión es grande con capacidad de hasta seis briquetas. Sin embargo, en la primera prueba se descartó el uso del fogón tradicional, porque no se tenía un control para ordenar las briquetas dentro de la cámara de combustión, impidiendo tomar datos uniformes en las evaluaciones. Además con la cantidad de briquetas previstas para cada prueba no se pudo llegar al punto de ebullición del agua.

La única prueba que se realizó en el fogón tradicional fue con el tipo de briqueta aserrín al 60% más papel al 40%. Éste llegó al punto de ebullición del agua con 25 briquetas equivalente a 2.4 kg. Esto se debe a que el fogón tradicional tiene un comal grande donde el calor se dispersa por distintos lugares y no hay llegada directa de calor a la olla y se desperdicia combustible. Por estos dos motivos se descartó la evaluación en el fogón tradicional.

4.3.3 Evaluación en el fogón de tres piedras

Para la evaluación final se utilizó el fogón de tres piedras, porque el calor del combustible se traslada directamente a la olla y hay menos desperdicio de briquetas. Durante este proceso se utilizó el PEMS.

El fogón de tres piedras permitió que la evaluación sea uniforme, para que la variación entre pruebas sea mínima y tener resultados similares. Al realizar la prueba en este fogón se agruparon cinco briquetas para iniciar la prueba, y cuando estas se consumían se

reemplazaron hasta llegar al punto de ebullición del agua. Al tener libre cada lado del fogón las briquetas se controlaban de caídas y mala posición al quemar, lo cual permitió mayor uniformidad en las pruebas.

Para que las briquetas funcionaran necesitaban fuego inicial de otro tipo de combustible. En este caso se utilizó una cama de 8 gramos de ocote con 26 gramos de leña de pino (*Pinus oocarpa*).

Los tipos de briquetas 20% papel + 40% pasto + 40% acícula y 100% pasto descomposición parcial no funcionaron. Debido a que la llama se extinguió unos minutos después de haberse consumido la cama. A pesar de acomodar las briquetas y esperar unos minutos la llama no se reactivó. Es por eso que no se continuó con la evaluación completa.

Cuando se utilizaron las briquetas de papel pasto y acícula, el agua llegó a una temperatura promedio de 35.8° C en 8 minutos que encendió. Esto más el tiempo que tardó en consumirse la cama. En las briquetas de pasto en descomposición parcial, el agua llegó a una temperatura promedio 32° C en 10 minutos que duro el encendido, luego se extinguió la llama. En estas dos evaluaciones se notó la diferencia que existe cuando se utiliza pasto al 100% y cuando se utiliza pasto en menor porcentaje. El pasto al 100% llega a una temperatura inferior casi en el mismo período de tiempo de encendido. Aquí se observo la baja eficiencia del pasto como combustible.

A partir de este punto se inició con las evaluaciones completas. En todas las pruebas se realizaron de manera normal la WBT junto con las evaluaciones de emisiones usando el PEMS. Cada tipo de briqueeta tiene un valor calórico diferente, con base a las proporciones de materiales que se encontraban en cada tipo. Este valor es necesario para el cálculo del WBT en el software.

En esta etapa se compararon entre sí las briquetas de las diferentes mezclas. Sin embargo, el análisis no sería de mucha utilidad si no la comparamos con un patrón, que en todos los casos fue la leña de pino que se utiliza normalmente. Para este fin se realizaron las mismas pruebas bajo las mismas condiciones a la leña de pino, para usarlo como patrón y compararla con las briquetas, y así determinar las diferencias y similitudes. En la parte de metodología se menciona que en la prueba del WBT se determinarían los factores tales como:

Tiempo de ebullición del agua

Cuando se compara combustibles se pensaría que el factor que muestra la eficiencia de ese combustible es el tiempo para llegar al punto de ebullición. Sin embargo, durante el proceso se observo que no necesariamente es así, ya que hay otros factores que influyen dentro de la determinación de eficiencia de un combustible.

El tiempo en el que se llega al punto de ebullición del agua cuando se usan las briquetas (Figura 1) está dada en minutos. Una comparación de este tiempo entre las distintas

briquetas ayuda a comprender el porqué una briqueta es buena o es mala, dependiendo de los componentes que tengan en su mezcla.

El tipo de briqueta de aserrín más papel tiene el menor tiempo para hacer alcanzar el punto de ebullición al agua en comparación a las demás mezclas e incluso a la leña de pino (figura 1). Esta diferencia en los tiempos es amplia.

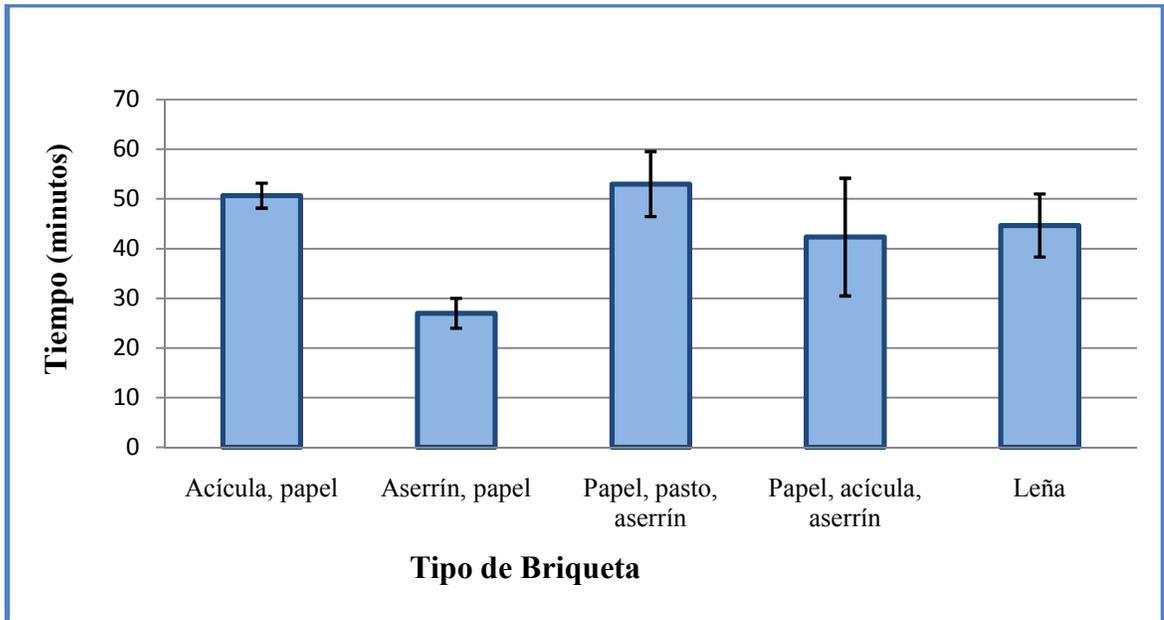


Figura 1. Tiempo de ebullición del agua según el tipo de briqueta y leña

No hay diferencia entre la leña de pino y las demás mezclas de briquetas. El tipo de briqueta que tarda más en hacer que el agua llegue al punto de ebullición es el que contiene pasto. Como se menciono anteriormente en la comparación de pasto al 100% este hacía que el agua llegase a menos temperatura que el tipo de briqueta que contenía un porcentaje inferior de pasto. Se puede decir que se observa un patrón con referencia al pasto. Éste afecta los resultados de las briquetas cuando tienen en su interior este componente.

Velocidad de combustión según el tipo de briqueta y leña

La briqueta tipo aserrín y papel tiene la velocidad de combustión más alta (Figura 2) frente a los demás tipos y en comparación con la leña de pino. Hay briquetas que tienen una velocidad alta y no hay mucha diferencia con la leña de pino, con excepción de la briqueta de aserrín y pino.

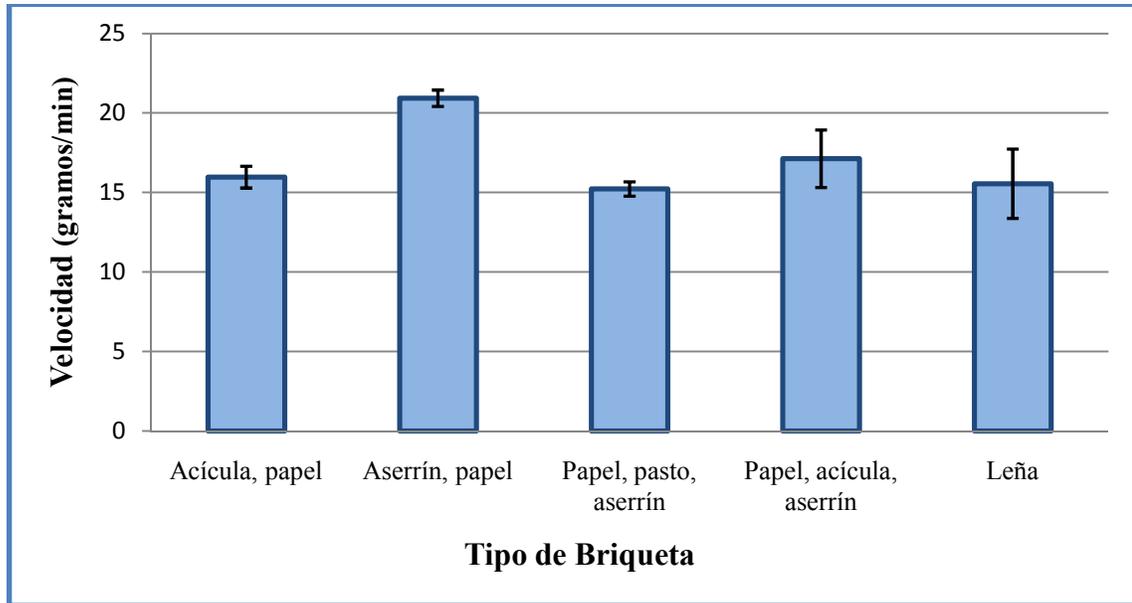


Figura 2. Velocidad de combustión según el tipo de briqueta y leña

Nótese que la velocidad de combustión tiene una relación inversa con el tiempo de ebullición del agua, es decir, a mayor sea la velocidad de combustión menor es el tiempo que el agua llega a su punto de ebullición.

Eficiencia térmica

Contrario a los resultados observados la briqueta de tipo papel, acícula y aserrín tiene la mayor eficiencia con 30% (Figura 3). Sin embargo, no hay diferencia resaltante frente a las demás mezclas. La briqueta tipo acícula y papel tiene el segundo mayor tiempo en hacer que el agua llegue al punto de ebullición pero su eficiencia térmica es la más baja.

La eficiencia térmica está relacionada con varios factores como la temperatura inicial del agua, la cantidad de agua evaporada, la humedad de las briquetas, entre otros. Hay variables pequeñas que podrían hacer variar la eficiencia térmica de las mezclas. Se trató de controlar con la mayor uniformidad al momento de la combustión y tratando de acomodar las briquetas de igual manera para cada una de las pruebas.

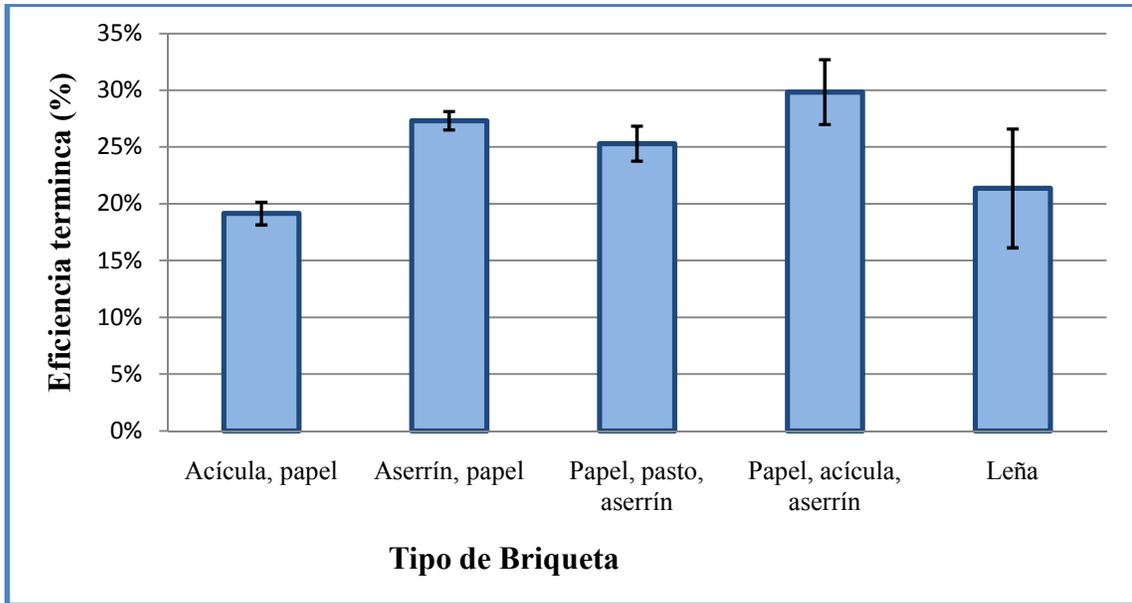


Figura 3. Eficiencia térmica según el tipo de briqueta y leña

Debido a la variabilidad de la eficiencia entre pruebas de las briquetas de papel, acícula y aserrín frente a las demás. Se notó que la eficiencia térmica, no es un factor que determina que los tipos de briquetas sean buenas o malas para usarlo como combustible.

Consumo específico de las briquetas

Este midió la cantidad de briquetas que se consume para poder hervir un litro de agua. La briqueta tipo aserrín y papel tiene el menor consumo específico (Figura 4). Tiene una diferencia alta frente a las demás mezclas y también a la leña de pino..

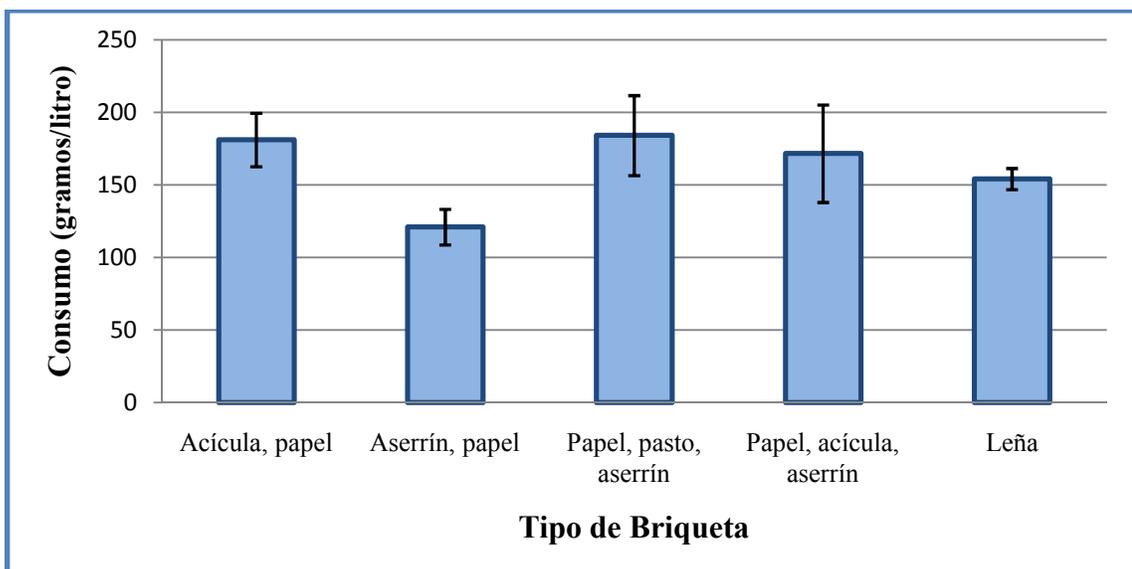


Figura 4. Consumo específico según el tipo de briqueta y leña

Consumo específico a temperatura corregida

Ésta fue similar al resultado anterior. La briqueta tipo aserrín y papel tiene el menor consumo específico (Figura 5). El consumo específico a temperatura corregida va a depender de la variación de la temperatura inicial y la temperatura final del agua, es decir, cuando la variación de la temperatura del agua sea menor a 75° C el consumo específico de la briqueta a temperatura corregida será mayor que el consumo específico normal.

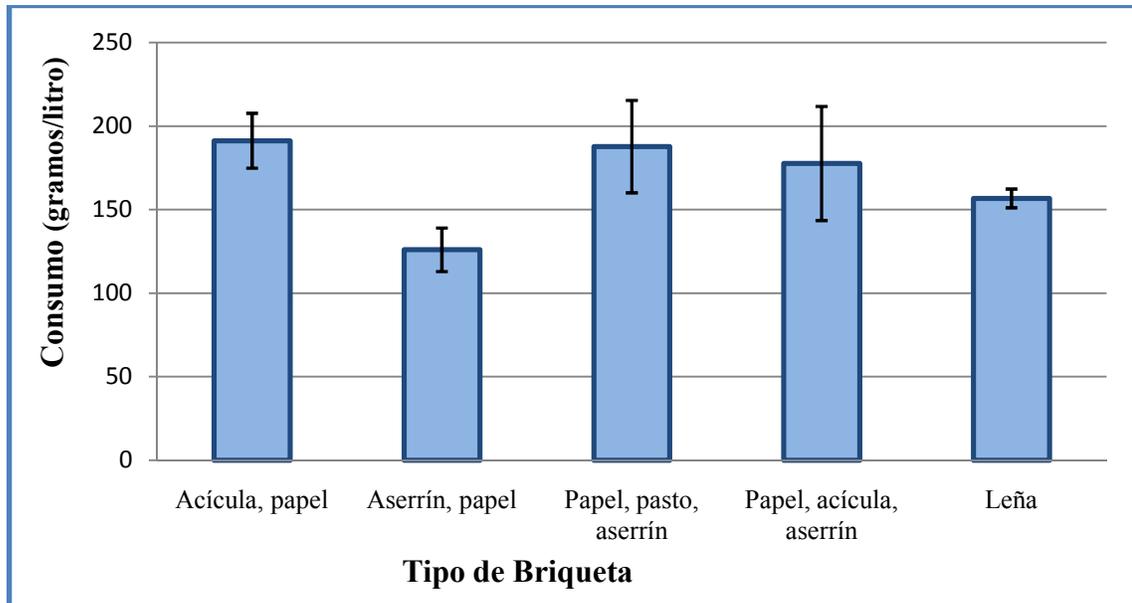


Figura 5. Consumo específico a temperatura corregida según el tipo de briqueta y leña

A pesar de haber una corrección en el consumo específico se observó que siempre hay una diferencia de la briqueta tipo aserrín y papel frente a las demás mezclas y a la leña de pino. Esto se debe a que todas las variaciones de temperatura fueron menores a 75° C y todos aumentaron su consumo específico.

La principal diferencia a resaltar es la briqueta tipo aserrín y papel frente a las demás mezclas y a la leña de pino, ya que las demás tienen similares resultados sin diferencias significativas.

Potencia de fuego de las briquetas

La potencia de fuego de la briqueta tipo aserrín y papel fue alta al igual que la leña de pino (Figura 6). Sin embargo no se observaron diferencias significativas con las demás mezclas, con excepción de la potencia de fuego del tipo de briqueta que contiene pasto, que resultó bajo.

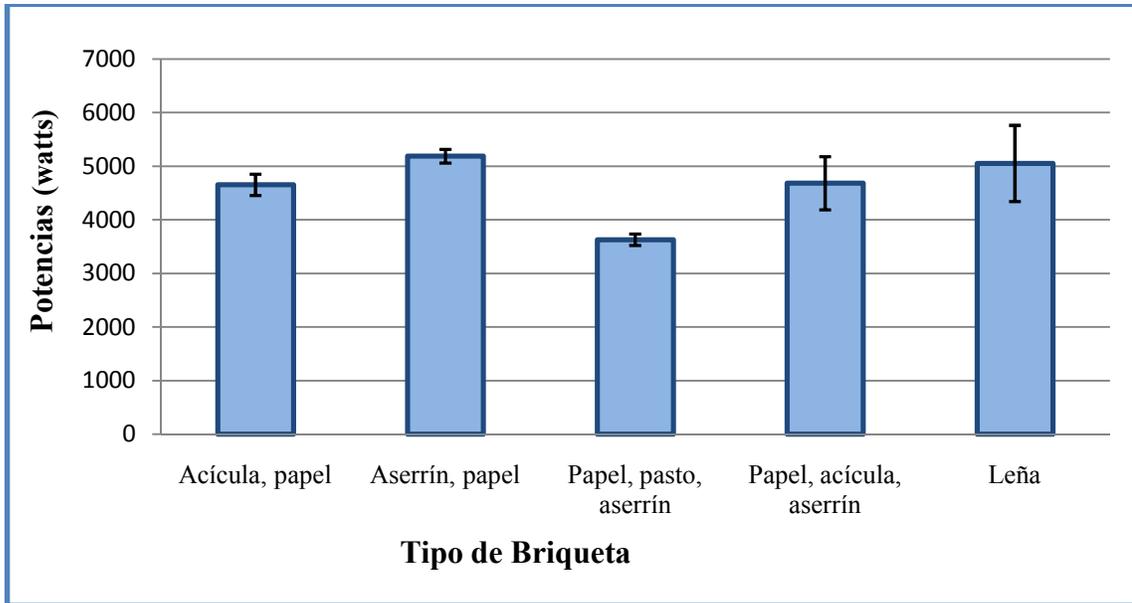


Figura 6. Potencia de fuego según el tipo de briqueta y leña

Nótese que al igual que la mayoría de resultados, la briqueta que contiene pasto no tiene buenas características frente a las demás mezclas de briquetas. Se va observando que el pasto no es buen material.

Equivalente de briquetas consumido

La briqueta tipo aserrín y papel tienen un equivalente de combustible consumido bajo (Figura 7), seguido por la leña del pino, que tiene el mismo patrón que el consumo específico y el consumo específico con temperatura corregida.

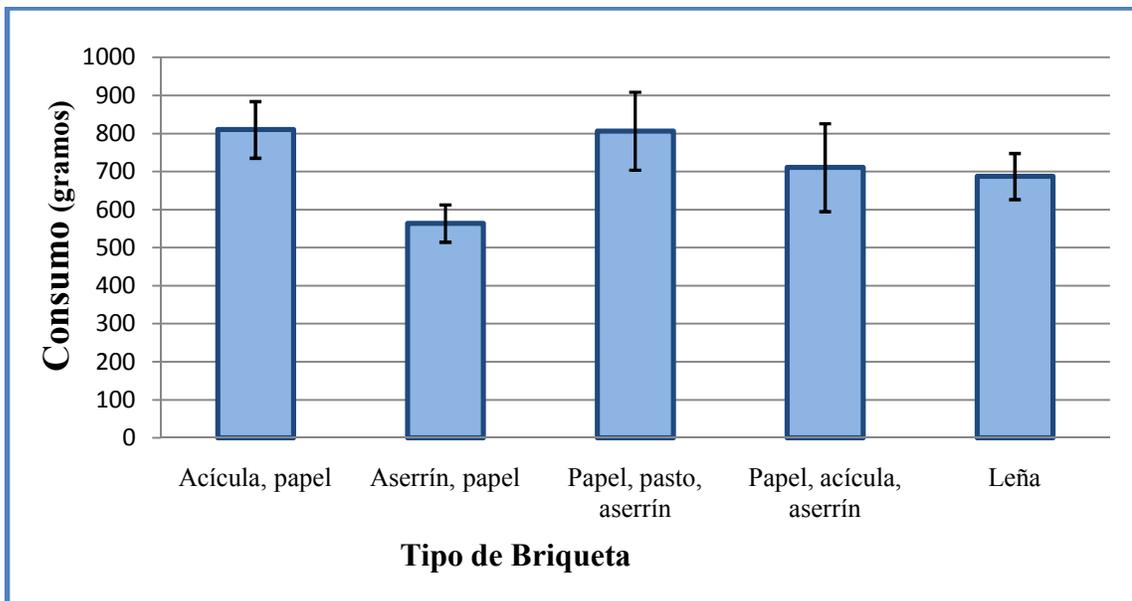


Figura 7. Equivalente consumido según el tipo de briqueta y leña

Según lo investigado no se han encontrado estudios realizados con referencia a la prueba del WBT aplicado a briquetas. Es por eso que no se cuenta con una base para la comparación del presente estudio con otros y no es posible discutir los resultados salvo con las evaluaciones que fueron recopilados durante las pruebas.

Los resultados mostraron distintas respuestas con escasa relación entre las variables medidas. De estos resultados es posible distinguir que la briketa tipo pasto, acícula y papel no funciona como es esperado siendo la menos eficiente (no confundamos con eficiencia térmica) frente a las demás mezclas. A pesar de tener una eficiencia térmica alta ésta variable no es suficiente para determinar si el tipo de briketa tiene buenas características, ya que la eficiencia térmica incluye otros factores como el tiempo de exposición y el tiempo que se llega al punto de ebullición del agua. Este tipo de briketa tiene un tiempo alto de exposición, es por eso que la eficiencia térmica resultó alta en comparación a los demás resultados.

Sumado a esto, se mostró en los primeros resultados que el pasto en descomposición parcial al 100%, al igual que la briketa tipo pasto, acícula y papel no funcionaron bajo las condiciones del estudio. Se plantea que el pasto baja el potencial de eficiencia de las briquetas. Además, se determinó que la briketa de tipo pasto aserrín y papel funcionó gracias al aserrín, que es el componente que ayuda a que esta briketa encienda y se mantenga con llama durante toda la prueba, resultando una mezcla con mucho potencial.

Los otros tipos de briquetas funcionaron de manera normal sin diferencia en comparación con la leña de pino, y siendo aun mejor la briketa de tipo aserrín y papel. Esta funcionó mejor que la leña de pino en cuanto a las variables medidas por la WBT. Se determinó que funcionaron mejor porque las briquetas tienen el principio de chimenea por la forma se aro, además la llama va directamente a la olla. La combustión de las briquetas es de forma uniforme, contrario a cuando se quema leña de pino. Este último es de forma desordenada y no uniforme por la forma larga, las llamas escapan fuera del radio de la olla y hay pérdida de calor al no haber control de la combustión de la leña, desperdiciándose leña en forma de carbón y combustión incompleta.

Emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y micro partículas (PM)

El factor de emisión es un cálculo que se determina dividiendo las emisiones totales de cada prueba entre el peso del combustible que se utiliza. Sirve para comparar resultados. Las emisiones de gases y partículas van a depender del peso del combustible, en este caso de las briquetas que se usan durante toda la prueba. Es por eso que el factor de emisión muestra la comparación real de las emisiones por unidad de peso.

El monóxido de carbono es un gas altamente tóxico para las personas, ya que al entrar al torrente sanguíneo reemplaza el oxígeno, y al no haber oxígeno en los órganos estos empiezan a morir por intoxicación tanto de CO como de CO₂. Esta se produce por la combustión incompleta de los combustibles.

Las emisiones de monóxido de carbono en la briqueta de tipo acícula y papel fueron las más elevadas de todas las muestras (Figura 8), emitiendo un promedio 12 gramos de CO por cada 100 gramos de briqueta durante toda la prueba. Las de menor proporción fueron las de aserrín y papel, junto con la leña de pino.

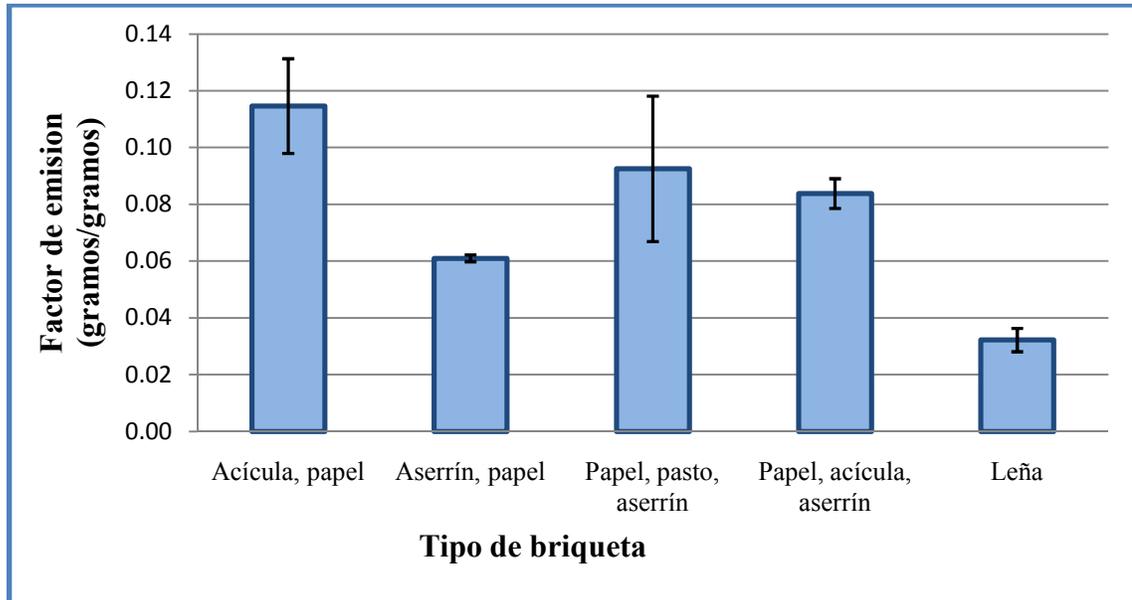


Figura 8. Factor de emisión de monóxido de carbono según el tipo de briqueta y leña

Estas cifras son las cantidades de emisiones externas. Nótese que la leña de pino es la que menos factor de emisión de CO tiene con 0.03 gramos/gramos. El CO₂ es un gas que contribuye al efecto invernadero, en lugares sin ventilación y con exposición directa y por largo tiempo puede causar asfixia. Este gas no es tan tóxico como el CO. Al igual que el resultado anterior, el tipo de briqueta acícula y papel tiene el mayor factor de emisión (Figura 9). Este indica que por cada 100 gramos de briqueta quemada se genera 160 gramos de CO₂.

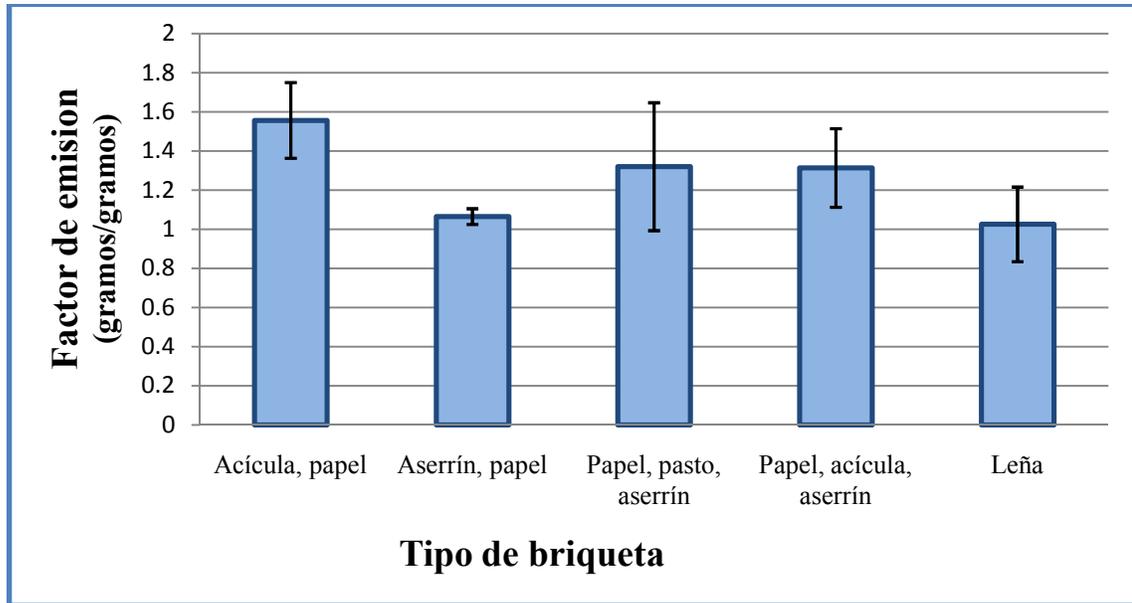


Figura 9. Factor de emisión de dióxido de carbono según el tipo de briqueta y leña

Las micro partículas son las causantes principales de enfermedades respiratorias. La acícula y el papel tuvo las más altas emisiones de micro partículas (Figura 10), con un promedio de 25 miligramos de micro partículas por cada gramo de briqueta quemada durante cada prueba.

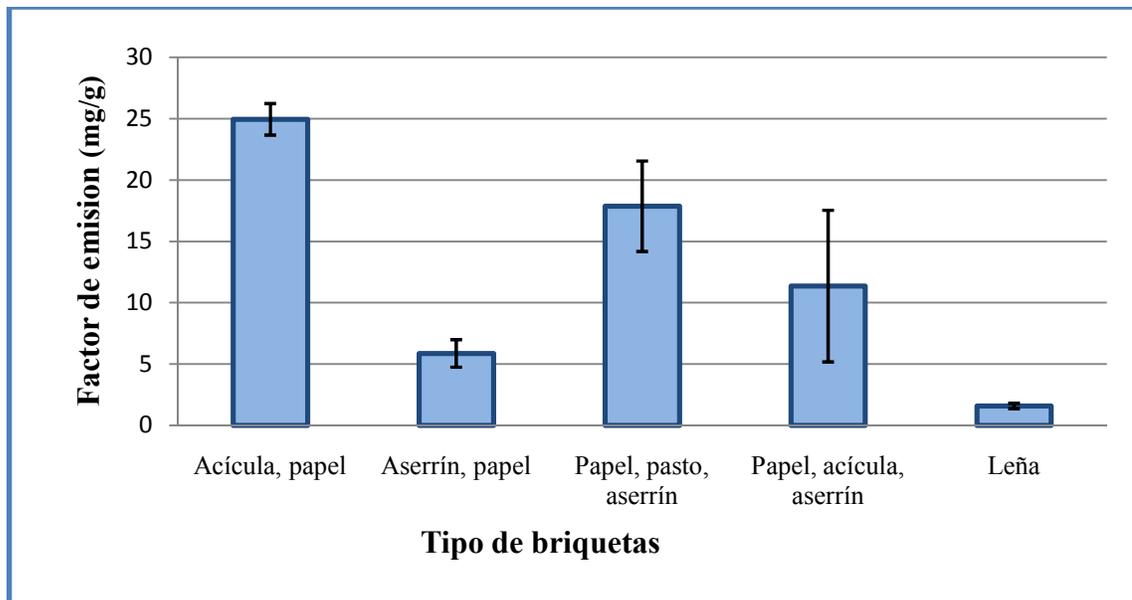


Figura 10. Factor de emisión de micro partículas según el tipo de briqueta y leña

En las evaluaciones de las tres variables se presentó la misma relación de emisiones, es decir la briqueta tipo acícula y papel tienen las mayores emisiones, seguido por la briqueta de tipo pasto, aserrín y papel y por ultimo la leña de pino.

Richard Stanley (2003) mencionó que la combustión de briquetas en remplazo del estiércol de Yak en el Tíbet y frente a otros combustibles mejora la salud. Haciendo referencia a las experiencias de campo, sin embargo, según este estudio las briquetas tienen altos valores de CO y PM en comparación con la leña de pino y el estiércol de ganado no funciona: Estos resultados son contrarios lo que mencione Stanley. En la fundación Legado se ha probado diversos residuos para la fabricación de briquetas, pero no se ha encontrado literatura de estudios con pruebas que describan las emisiones que generan. Por lo tanto no es posible afirmar que las briquetas mejoran la salud.

Cuando se presenta mayor emisión de CO, es porque la combustión ha sido incompleta. Esto tiene relación con la eficiencia del tipo de briqueta. Durante la limpieza del PEMS después de evaluar las diferentes mezclas se encontró abundante polvillo (hollín) acumulado en la tubería de transporte del aire, muy diferente al encontrado cuando se realizaron pruebas con otros combustibles como la leña de pino y olote. Es por eso que la emisión de micro partículas fue abundante en algunas mezclas de briquetas. que son las causantes de enfermedades respiratorias.

Los resultados de las diferentes variables indicó que tipo de briqueta es la mejor, en esta investigación la briqueta tipo aserrín y papel es la tuvo mejores características en eficiencia y emisiones, debido a la semejanza con la leña de pino por tratarse de aserrín de pino al 60%, y la razón para ser mejor este tipo de briqueta en algunas variables es por la forma estructural y de combustión que tienen las briquetas, quemando directamente bajo el radio de la olla, contrario a la leña de pino que la combustión es mas desordenada.

5. CONCLUSIONES

- Al no haber estudios previos de la aplicación del protocolo WBT y la medición de emisiones, este estudio no es determinante para conocer el comportamiento de las briquetas. Sin embargo, al compararlo con la leña de pino se observó que algunos tipos de briquetas tienen características inferiores en eficiencia y emisiones, siendo las emisiones la variable más importante a medir y la que más influenciaría en la toma de decisiones de fabricación de briquetas por las enfermedades que generan.
- En la fabricación de briquetas el corte y la descomposición parcial son determinantes para una buena estructura.
- No todos los residuos tienen la capacidad de usarse para la fabricación de briquetas. Sin embargo no se descarta que al estar mezclado con otros materiales tengan mayor eficiencia. Se tienen que evaluar previamente al hacer cualquier recomendación para el uso.
- El pasto bahía (*Paspalum notatum*) es un material que no se recomienda para la elaboración de briquetas por la baja eficiencia que tiene. Sin embargo, es un material que estando en descomposición parcial sirve como aglutinante natural para mezclas con otros materiales.
- El estiércol de la unidad de ganado lechero de Zamorano que se utilizó durante las pruebas no funcionó como briquetas en ninguna de sus mezclas. Debido a que en la fabricación la estructura se compacta, lo cual impide la circulación interna de aire.
- Las estufas mejoradas Eco Fogón y Justa 2x3 y la estufa tradicional que actualmente se encuentran en Zamorano no están diseñadas para la combustión de briquetas.
- Las briquetas de aserrín y papel son las que tienen mejor característica en eficiencia y emisiones frente a las demás briquetas, y en eficiencia frente a la leña de pino.
- Todas las briquetas a excepción del tipo aserrín y papel, tuvieron emisiones altas de CO por la combustión incompleta y emisiones altas de micro partículas.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar más evaluaciones de briquetas con los protocolos WBT bajo condiciones similares y diferentes de viento, para contar con una base de datos para estudios posteriores.
- Diseñar una estufa a medida y según las características de encendido de las briquetas, para evaluar y comparar con los resultados ya existentes.
- Recolectar los residuos agrícolas después que estos hayan estado expuestos al aire libre por largo tiempo para que la descomposición parcial esté avanzada y así acortar los tiempos de descomposición y secado durante la fabricación de las briquetas.
- Realizar un estudio de factibilidad económica para ver si es recomendable fabricar briquetas en Honduras.
- Realizar estudios de costumbres y hábitos de cocina de las personas para determinar si estarían dispuestos a usar briquetas.
- Para recomendar el uso de las briquetas se tienen que hacer estudios completos por las elevadas emisiones que estas tienen, incluyendo nuevos materiales y nueva tecnología en la combustión.

7. LITERATURA CITADA

Aprovecho Research Center. 2009. The Water Boiling Test Version 4.1.2. (en línea). Consultado el 7 de Julio de 2010. Disponible en <http://www.aprovecho.org/lab/pubs/testing>.

Aprovecho Research Center. 2008. Instructions for Use of the Portable Emissions Monitoring System (PEMS). Oregon. USA. 21p.

Bailis, R; Ogle, D; MacCarty, N; Still, D. 2007a. The Water Boiling Test (WBT). Household Energy and Health Programme, Shell Foundation. (en línea). Consultado el 7 de Julio de 2010. Disponible en http://ehs.sph.berkeley.edu/hem/hem/protocols/WBT_Version_3.0_Jan2007a.pdf.

Bailis, R; Smith KR; Edwards R. 2007b. Kitchen Performance Test (KPT). Household Energy and Health Programme, Shell Foundation. (en línea). Consultado el 7 de Julio de 2010. Disponible en http://ehs.sph.berkeley.edu/hem/hem/protocols/KPT_Version_3.0_Jan2007a.pdf.

Comisión Forestal para América Latina y el Caribe FAO. (1999). Situación Forestal de América Latina y el Caribe. (en línea). Consultado el 20 de Agosto de 2010. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/meeting/x6004s.htm>.

Departamento de Montes de la FAO. 1981. Madera para producir energía: Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Grover, PD; Mishra, SK. 1996. of the international workshop on biomass briquetting. (en línea). New Delhi, India, FAO. Consultado el 6 de julio de 2010. Disponible en <http://doc.utwente.nl/22950/1/Clancy95barriers.pdf>.

Legacy Foundation. 2003. Fuel Briquette Press Kit. A Construction Manual. USA. 20p.

Legacy Foundation. 2003. Fuel Briquette Making. A Users Manual. USA. 20p.

Legacy Foundation. 2003. Fuel Briquettes: Theory and Applications From Around the World. USA. 26p.

MacCarty, N. 2008. The Portable Emissions Measurement System. Aprovecho Research Center. (en línea). Consultado el 25 de julio de 2010. Disponible en http://stovetec.net/emissions/images/stories/emissions%20brochure_PEMS.pdf.

Shakya, GR; Leon, IM; eds. 2003. Biomass Briquetting of Agricultural and Forest Residues and Herb Wastes in Nepal. (en línea). Consultado el 6 de Julio de 2010. Disponible en <http://www.retsasia.ait.ac.th/Publications/WRERC%202005/RONAST-WRERCE05-final.pdf>.

Smith, KR. 2007. Household Environmental Monitoring. (en línea). Consultado el 26 de mayo de 2010. Disponible en: <http://ehs.sph.berkeley.edu/hem/page.asp?id=1>

Solar Household Energy (SHE), Inc. 2004. La Crisis. (en línea), consultado el 27 de mayo de 2010. Disponible en http://www.she-inc.org/crisis_s.php.

Stanley, R. 2003. Briquetting: An Answer to Desertification, Health Problems, Unemployment and Reforestation in Developing Communities. (en línea). Consultado el 7 de Julio de 2010. Disponible en http://www.ewb-international.org/search_frame.php?searchstring=Briquetting%3A+An+Answer+to+Desertification.

8. ANEXOS

Anexo 1. Imágenes de las etapas del estudio

- Prensa de madera fabricado en la Unidad Forestal de Zamorano.



- Comparación de la combustión del tipo de briqueta pasto en descomposición parcial al 100% con las briquetas tipo aserrín al 60% más papel al 40% y leña de pino respectivamente.



- Partículas encontradas en el PEMS después de una semana de evaluación.



Anexo 2. Cuadros de variables obtenidas al realizar la prueba del agua hirviendo WBT

- **Tiempo de ebullición del agua**

Tipo de Briqueta	Tipo de Briqueta	Unidades	Promedio	Desviación estándar
80% de acícula mas 20% de papel	acícula, papel	min	50.67	2.52
60% de aserrín mas 40% de papel	aserrín, papel	min	27.00	3.00
20% de papel mas 50% de pasto mas 30% aserrín	papel, pasto, aserrín	min	53.00	6.56
25% de papel mas 40% de acícula mas 35% de aserrín	papel, acícula, aserrín	min	42.33	11.85
Leña de pino	leña	min	44.67	6.35

- **Velocidad de combustión de las briquetas**

Tipo de Briqueta	Tipo de Briqueta	Unidades	Promedio	Desviación estándar
80% de acícula mas 20% de papel	acícula, papel	g/min	15.97	0.69
60% de aserrín mas 40% de papel	aserrín, papel	g/min	20.92	0.52
20% de papel mas 50% de pasto mas 30% aserrín	papel, pasto, aserrín	g/min	15.22	0.45
25% de papel mas 40% de acícula mas 35% de aserrín	papel, acícula, aserrín	g/min	17.12	1.81
Leña de pino	leña	g/min	15.55	2.18

- **Eficiencia térmica de las briquetas**

Tipo de Briqueta	Tipo de Briqueta	de	Unidades	Promedio	Desviación estándar
80% de acícula mas 20% de papel	acícula, papel	--		19.15%	1.00%
60% de aserrín mas 40% de papel	aserrín, papel	--		27.31%	0.81%
20% de papel mas 50% de pasto mas 30% aserrín	papel, aserrín	pasto,	--	25.30%	1.54%
25% de papel mas 40% de acícula mas 35% de aserrín	papel, aserrín	acícula,	--	29.84%	2.86%
Leña de pino	leña		--	21.36%	5.23%

- **Consumo específico de las briquetas**

Tipo de Briqueta	Tipo de Briqueta	de	Unidades	Promedio	Desviación estándar
80% de acícula mas 20% de papel	acícula, papel		g/litros	181.04	18.38
60% de aserrín mas 40% de papel	aserrín, papel		g/litros	120.96	12.29
20% de papel mas 50% de pasto mas 30% aserrín	papel, aserrín	pasto,	g/litros	184.07	27.57
25% de papel mas 40% de acícula mas 35% de aserrín	papel, aserrín	acícula,	g/litros	171.57	33.61
Leña de pino	leña		g/litros	154.13	7.30

- **Consumo específico de las briquetas a temperatura corregida**

Tipo de Briqueta	Tipo de Briqueta	Unidades	Promedio	Desviación estándar
80% de acícula mas 20% de papel	acícula, papel	g/litro	191.26	16.46
60% de aserrín mas 40% de papel	aserrín, papel	g/litro	126.02	13.03
20% de papel mas 50% de pasto mas 30% aserrín	papel, pasto, aserrín	g/litro	187.77	27.66
25% de papel mas 40% de acícula mas 35% de aserrín	papel, acícula, aserrín	g/litro	177.66	34.15
Leña de pino	leña	g/litro	156.74	5.62

- **Potencia de fuego de las briquetas**

Tipo de Briqueta	Tipo de Briqueta	Unidades	Promedio	Desviación estándar
80% de acícula mas 20% de papel	acícula, papel	watts	4653.89	200.33
60% de aserrín mas 40% de papel	aserrín, papel	watts	5189.05	128.01
20% de papel mas 50% de pasto mas 30% aserrín	papel, pasto, aserrín	watts	3629.68	107.73
25% de papel mas 40% de acícula mas 35% de aserrín	papel, acícula, aserrín	watts	4682.97	495.86
Leña de pino	leña	watts	5052.99	709.96

- **Equivalente de briquetas consumido**

Tipo de Briqueta	Tipo de Briqueta	de Unidades	Promedio	Desviación estándar
80% de acícula mas 20% de papel	acícula, papel	g	810.07	74.49
60% de aserrín mas 40% de papel	aserrín, papel	g	563.96	49.18
20% de papel mas 50% de pasto mas 30% aserrín	papel, pasto, aserrín	g	806.67	102.24
25% de papel mas 40% de acícula mas 35% de aserrín	papel, acícula, aserrín	g	710.75	115.62
Leña de pino	leña	g	687.51	60.72

Anexo 3. Emisiones de CO₂, CO y PM

Estos cuadros representan las evaluaciones de emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono y micro partículas obtenidas mediante el PEMS.

PEMS: Factor de emisión CO

Tipo de Briqueta	Tipo de Briqueta	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Promedio Factor de emisión (gramos/gramos)	Desviación estándar
80% de acícula mas 20% de papel	acícula, papel	0.12	0.13	0.10	0.11	0.02
60% de aserrín mas 40% de papel	aserrín, papel	0.06	0.06	0.06	0.06	0.00
20% de papel mas 50% de pasto mas 30% aserrín	papel, pasto, aserrín	0.06	0.11	0.11	0.09	0.03
25% de papel mas 40% de acícula mas 35% de aserrín	papel, acícula, aserrín	0.08	0.09	0.08	0.08	0.01
Leña de pino	leña	0.03	0.04	0.03	0.03	0.00

PEMS: Factor de emisión CO2

Tipo de Briqueta	Tipo de Briqueta	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Promedio de Factor de emisión (gramos/gramos)	Desviación estándar
80% de acícula mas 20% de papel	acícula, papel	1.68	1.66	1.33	1.56	0.19
60% de aserrín mas 40% de papel	aserrín, papel	1.07	1.02	1.10	1.06	0.04
20% de papel mas 50% de pasto mas 30% aserrín	papel, pasto, aserrín	0.94	1.48	1.54	1.32	0.33
25% de papel mas 40% de acícula mas 35% de aserrín	papel, acícula, aserrín	1.19	1.54	1.20	1.31	0.20
Leña de pino	leña	0.88	1.24	0.95	1.02	0.19

PEMS: Micro-partículas

Tipo de Briqueta	Tipo de Briqueta	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Promedio Factor de emisión (miligramos/gramos)	Desviación estándar
80% de acícula mas 20% de papel	acícula, papel	23.87	24.62	26.37	24.95	1.28
60% de aserrín mas 40% de papel	aserrín, papel	7.10	5.57	4.92	5.86	1.12
20% de papel mas 50% de pasto mas 30% aserrín	papel, pasto, aserrín	13.60	19.93	20.06	17.86	3.69
25% de papel mas 40% de acícula mas 35% de aserrín	papel, acícula, aserrín	7.60	7.96	18.48	11.35	6.18
Leña de pino	leña	1.83	1.46	1.44	1.58	0.22
