



DESARROLLO DE UNA PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA BROZA DEL CAFÉ

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGICAL PROPOSAL FOR THE ENERGY VALORIZATION OF THE COFFEE BEAN

Alzurú, Angel¹ González, Yris²; Hernández, Greilismar³; Rodríguez, Juan³.

¹ Centro para la Gestión Tecnología Popular. Barquisimeto Venezuela.

² Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática Departamento de Ingeniería Química. Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.

³ Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” Centro de Investigación de Procesos (CENIPRO) Barquisimeto Venezuela. ykgonzal@espol.edu.ec, jerodriguez@unexpo.edu.ve.

Recibido: 12-11-2018 Aceptado: 20-12-2018

RESUMEN

La broza del café es un residuo generado durante el procesamiento de los granos de café, la cual se acumula causando problemas de contaminación en suelos y aire. Sin embargo, por su naturaleza lignocelulósica, posee un alto potencial energético; que lo convierte en subproducto de valor agregado en este sector, al ser transformado en briquetas combustibles o leña ecológica. En tal sentido, en este trabajo se desarrolló una propuesta tecnológica a nivel artesanal para valorizar este desecho, mediante su caracterización química y la identificación del proceso para su conversión a un potencial combustible. La broza fue transformada, a nivel de laboratorio y a nivel de planta piloto en un sector cafetalero, mediante operaciones de: molienda, tamizado, selección y adición de aglutinante, prensado y secado. Las briquetas producidas fueron evaluadas respecto a la leña, obteniéndose una mejora en términos de tiempo de ignición, tiempo de combustión, y porcentaje de residuos. Lo que permite inferir que es un producto potencial para el emprendimiento del sector cafetalero.

Palabras clave: Biomasa, Emprendimiento, Energía, Tecnología. UNESCO Code: 330303

ABSTRACT

The coffee chaff is a residue generated during processing of grain coffee, its accumulation cause contamination problems in soil and air. However, due to its lignocellulosic nature, it has a high energy potential, which makes it a by-product of added value in this sector, as it is transformed into combustible briquettes or ecological firewood. In this sense, this work developed a artisanal technological proposal to valorize this waste, through its chemical characterization, the identification of the process for its conversion to a potential fuel. The chaff was transformed, at two scales: at the laboratory level and at the pilot plant level in a community of the coffee sector through the operations of grinding, sifting, selection and addition of binder, pressing and drying. The briquettes produced were evaluated with respect to firewood, obtaining an improvement in terms of ignition time, combustion time, and percentage of waste. It's reflects, a potential area of entrepreneurship for the coffee sector.

Keywords: Biomass, Energy, Entrepreneurship, Technology,. UNESCO Code: 330303

Este artículo corresponde al extenso de la ponencia presentada en el VI Seminario de Gestión y Tecnología (ALTEC 2018), realizado los días 21, 22 y 23 de noviembre del 2018 en la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Barquisimeto, Venezuela.

INTRODUCCION

En estos tiempos la contaminación y los altos gastos energéticos son dos caras de un dilema a nivel mundial, por ello constantemente se está en la búsqueda de la implementación de energías alternativas que conlleven a la mejora de tal problema. De este hecho parte la idea del uso de biomásas como fuente energética que no emitan contaminantes en altas concentraciones al ambiente.

La definición de biomasa (Martín, 2018), se puede referir al conjunto de materia orgánica renovable de origen animal o vegetal lignocelulósico obtenida naturalmente o por alteraciones artificiales. Dichas biomásas provienen de residuos, por tanto, son inagotables y ecológicas; lo que resulta apropiado destinarlas a procesos con fines energéticos mediante su combustión a partir de bloques compactados de tipos briquetas y pellets. Estos bloques combustibles se obtienen mediante el secado, la trituración, prensado y enfriado de la materia orgánica empleada, que puede ser cascarilla de arroz, de girasol, de avellana, de maní, de café, fibra de coco, paja o aserrín, todos estos ejemplos de biomasa.

Por consiguiente, resulta tentador para todas aquellas agroindustrias que

producen desechos de este tipo, pensar en una alternativa para utilizar dicha materia orgánica, debido a que contribuye a la disminución de la contaminación ambiental y a la propagación de insectos que se generan por la acumulación de residuos dentro de la planta, promoviendo de esta forma al mayor uso de espacios anteriormente no utilizados y a un mayor aprovechamiento de sus recursos.

En particular, la agroindustria cafetalera presenta tres tipos de desechos durante el proceso de beneficio de café, que son la pulpa, el mucilago y el pergamino de café; siendo este último un desecho lignocelulósico que por su naturaleza posee un alto potencial energético, lo que lo hace que sea apto para ser usado como materia prima en la elaboración de briquetas.

El pergamino o cascarilla de café según (Guerrero & Vargas, 2015) define como la parte que envuelve el grano después de la capa mucilaginoso, y representa alrededor de 7% del grano de café. Además (Crespo & Vargas, 2015), reporto que por cada 47 kg de café producido 12 kg son de pergamino o cascarilla de café. Por otra parte, sus propiedades han sido reportadas para las zonas cafetaleras de la región larense (Hernandez, Carrasco, Mujica, &

Espinola, 2007), (Gallo, 2018), referenciándose un bajo contenido de humedad y cenizas, y un alto potencial calorífico.

Además, resulta oportuno señalar que la mayoría de estas agroindustrias son rurales y se encuentran alejadas del urbanismo y por ello presentan dificultades para la adquisición de combustibles como el gas y gasoil para el proceso de secado del café; y en el caso de necesidades familiares de alimentación usan leña para satisfacer sus necesidades energéticas, cuyos subproductos en términos de emisiones gaseosas contaminantes, generan severos daños a la salud.

Las estufas de leña emiten entre 10-180 gramos de monóxido de carbono (CO) por kg de leña. Los efectos del monóxido de carbono al mezclarse con la sangre son entre otros: disminución de los niveles de oxígeno, lo que afecta el corazón, y en concentraciones elevadas generan pérdida de conciencia, daño cerebral e incluso la muerte. El contacto con dióxido de nitrógeno (NO₂) durante temporadas prolongadas, origina enfermedades respiratorias, especialmente en los niños menores de 4 años. Por su parte, la exposición al dióxido de azufre (SO₂) produce tos, congestión en el pecho, bronquitis, reducción en las

funciones pulmonares y aumento en el riesgo prematuro de muerte. Las partículas suspendidas producen pulmonía, asma y bronquitis (Barragán, 2011).

En este sentido, al tener comunicación con comunidades cafetaleras del Estado Lara, manifestaron no estar exentos de la problemática descrita; debido a esto, se pretende enfocar este estudio al empleo de subproductos obtenidos durante la etapa del trillado del café, para la elaboración de briquetas, como sustituto de un combustible que cubra con sus necesidades energéticas y que además presente un valor agregado al proceso de beneficio de café.

En este contexto, este trabajo presenta la metodología y resultados, referentes a la caracterización de la broza, la elaboración de la briqueta, y la evaluación de sus propiedades combustibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para que una biomasa sea valorada como fuente de combustible renovable, está debe cumplir ciertos parámetros: humedad, cenizas y poder calorífico. Además, en este trabajo se evalúan las emisiones gaseosas y el contenido de metales después de su combustión, para garantizar la inocuidad del producto.

Humedad de la biomasa. - La presencia de humedad en la biomasa disminuye el poder calórico del biocombustible producido, por lo cual su aprovechamiento es menor, razón por la cual se busca que la biomasa tenga un bajo contenido de humedad.

Cenizas. - El contenido de cenizas favorece la producción de residuo sólido carbonoso, por lo cual no es conveniente que biomasa utilizada presente una alta cantidad de constituyentes inorgánicos.

Poder calorífico. Esta propiedad determina una buena o mala combustión, mientras más elevada sea, mayor se aprovechará su energía.

Tiempo de ignición: Es el tiempo que tarda la biomasa en arder completamente.

Una vez, identificado los parámetros que debe tener una biomasa para su uso como una fuente combustible, se procedió a la caracterización de la broza del café (Guerrero & Ramos., 2015), esta se realizó mediante un muestreo aleatorio, se evaluaron los porcentajes de humedad, ceniza, poder calorífico, tiempo y temperatura de ignición, y emisiones contaminantes, de acuerdo con las siguientes normas:

- Muestreo (COVENIN 612, 1982).
- Determinación de humedad (COVENIN 1553, 1980).

- Determinación del contenido de ceniza (COVENIN 1783, 1981).
- Determinaciones extraíbles en madera (ANSI/ASTM D1105, 1979).
- Determinación del calor de combustión, mediante bomba calorimétrica (ASTM D240-14, 2014).
- Contenido de metales en ceniza, mediante espectrometría de fluorescencia (ASTM E1621-13, 2013).

Elaboración de las Briquetas

Por otra parte, para la elaboración de los bloques combustibles o briquetas, las operaciones unitarias involucradas en el proceso fueron:

Triturado y tamizado del residuo.

El residuo obtenido de la etapa de trillado deberá pasar por un molino con el fin de disminuir el tamaño de partículas y así facilitar la compactación de las briquetas. Se realizaron estudios granulométricos para determinar el tamaño de partículas que facilitará más la compactación del residuo, para ello se tamizará la biomasa obtenida haciendo uso del método Tyler.

Selección y Adición del Aglutinante.

Una vez obtenido el residuo molido es necesario agregarle un aglutinante que

facilite la compactación de la biomasa; por lo tanto, se estudiara la cantidad mínima del mismo que debe agregarse a cierta cantidad del residuo molido para que ocurra la compactación del bloque combustible.

Prensado y Secado.

Como última etapa se encuentra la de prensado, en la cual la mezcla de broza aglutinante se somete a presión para así lograr su compactación. Es importante resaltar que cual sea la base o molde que se tome para la elaboración de las briquetas debe ser completamente lisa por dentro, de tal forma que no se vea comprometida la forma y solidez del producto.

Para la consecución de esta investigación, la elaboración de las briquetas (Hernandez & Sibrian., 2013), (Crespo & Vargas, 2015) se desarrolló en dos niveles, uno de laboratorio y el otro a escala piloto, considerando la caracterización del producto, en términos de propiedades físicas de interés, y teniendo presente cumplir los siguientes objetivos:

- Selección del aglutinante por criterios físicos y económicos.
- Evaluar la cantidad mínima de aglutinante.

- Determinar la granulometría adecuada para facilitar la compactación del bloque.

De las investigaciones previas (Cabezas, 2009), se conoce que, compuestos como el almidón, la cal, la melaza, el agua, son utilizados con el fin de facilitar la compactación. En búsqueda de un aglutinante capaz de compactar el pergamino de café, se realizó un estudio de aquellos líquidos que fuesen de fácil obtención para los agricultores de la zona cafetalera y se seleccionó el agua, el cual contribuye a que el aglutinante natural de las biomásas, la lignina, actué con mayor facilidad sobre las fibras que componen las briquetas.

Evaluación del Producto

Las propiedades que se escogieron para la caracterización del producto fueron aquellas propiedades consideradas por los habitantes de la comunidad rural Caspo Abajo, en Sanare, Estado Lara; y son comparadas con producto competidor más similar, como lo es la leña representadas por: tiempo de ignición, tiempo de combustión y porcentaje de desechos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la broza del café para su uso como combustible renovable.

Humedad, Cenizas y Potencial Calorífico

En las figuras 1, 2 y 3, se ilustran los resultados referentes a las propiedades: humedad, cenizas y potencial calorífico reportado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO) valor de referencia tomado de (Jara Millar, 2009), y el reportado por Hernández & Sibrian, (2013). Para la broza del café de los años 2012 y 2013, broza 1 y broza 2 respectivamente de la zona de Caspo Abajo, Sanare, Municipio Andrés Bello.

La Figura 1 ilustra los contenidos de humedad en las distintas biomásas. Todos los valores son menores al 30% p/p, esto señala que la cantidad de agua en las muestras de brozas están por debajo del límite superior y pueden ser usadas como combustible. Y la humedad se mantiene cercano al valor de referencia al transcurrir el tiempo, reflejando la posibilidad de aprovechar la broza de un año anterior y debidamente almacenada para tal fin. Por otra parte, comparando los valores de referencia (FAO, 2002) y (Hernández & Sibrian, 2013), se encuentra en el rango.

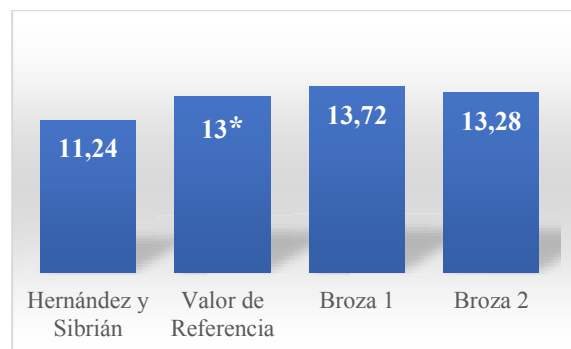


Figura 1. Humedad %p/p.

En la Figura 2, indica que el contenido de ceniza de la broza de café (Broza 1 y Broza 2), se encuentran hasta en un 2,5 % (p/p, éstas están en el rango establecido y por ende señala además que las mismas no poseían ningún tipo de contaminantes como arena o tierra, ya que según (Jara Millar, 2009), la broza del café por ser considerada biomasa, debería poseer un contenido de ceniza menor al 5% p/p, sino está contaminada, al igual que la experiencia anterior, en ésta el contenido de ceniza es muy similar al transcurrir el tiempo, obteniendo así el mismo beneficio.

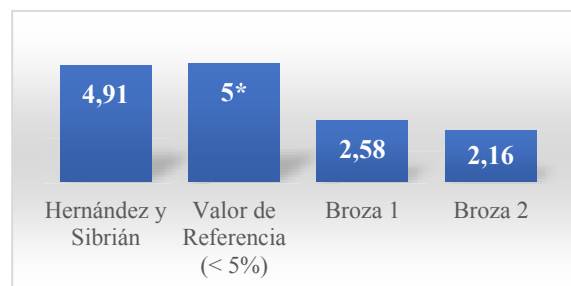


Figura 2. Ceniza % p/p.

Los valores obtenidos en la Figura 3 muestran un bajo poder calorífico en comparación al valor de referencia (Jara Millar, 2009), muy probablemente a la ausencia de grandes cantidades de volátiles (alcoholes, glicoles, entre otros); éstos posiblemente fueron arrastrados por sus afinidades con el agua durante el proceso de compactación para la elaboración de la pastilla, puesto que la misma fue molida, humedecida y secada a temperatura ambiente para asegurar un buen comprimido. En este orden las desviaciones, se centran en los métodos usados.

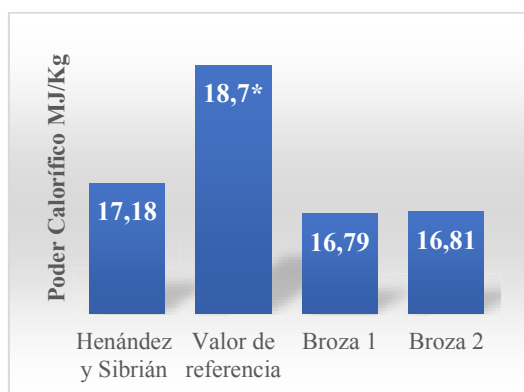


Figura 3. Poder calorífico (Mj/kg).

Metales y no metales presentes en la ceniza.

En el Cuadro 1, se muestran los elementos metálicos y no metálicos determinados, con la finalidad de obtener la fracción inorgánica presente en la broza de café, debido a que la composición de estos predice los posibles problemas relacionados con la

existencia de fenómenos de corrosión, erosión, deposición y escorificación (Lopez & Llea, 2010).

Los metales pesados (Pb, Cd, Zn, V, Cr y Ni) observados, se encuentran en menor proporción (< 10ppm) o son indetectables, debido a la dinámica de flujo de nutrientes con la tierra. La diferencia del plomo en las brozas analizadas ocurrió a causa de las condiciones a la cual se encontraba la broza 2. Elementos tóxicos como el As, están presentes en trazas, por ende, no es motivo de riesgo para la sociedad. Finalmente, las desviaciones obtenidas se deben a que el contenido de metales y no metales varía en la porción de muestra tomada, es decir éstos no se encuentran de manera uniforme en la misma, este hecho se debe a las diversas fuentes de contaminación existentes.

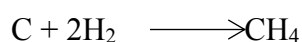
Emisiones a la atmósfera

Se realizó el proceso de pirolisis a 250 °C. y 30 min, y se evaluó el cambio de pH del agua ver cuadro 2, el cual se debe a los gases liberados durante la pirolisis, que se condensan originando fracciones de ácidos piroleñosos (Lopez & Llera, 2010).

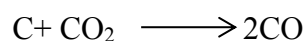
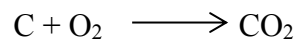
Siendo estos compuestos derivados de celulosa/hemicelulosa como ácido acético, ácido furfural,

hidroxiacetaldehído acetol
levoglucosano, entre otros; y los derivados de la lignina: 2-metoxifenol, 2-metoxi-4-(prop-1-en-1-il) fenol, 2,6-dimetoxifenol, entre otros. Sin embargo, existen otros compuestos en mayor proporción generados por las reacciones siguientes:

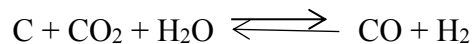
1° Formación de metano a partir del carbono del biochar:



2° Formación de óxidos a partir del carbono del biochar:



3° Formación de H₂ y CO a partir del carbono del biochar:



Las emisiones a la atmósfera no son gases generadores de impacto ambiental, puesto a que el CO₂ producido en la combustión se considera emisiones neutras por generarse de un compuesto lignocelulósico.

Cuadro 1. Contenido de Metales en Cenizas por 100g de muestra por CG/MS

Elemento	Broza 1 (% p/p)	Broza 2 % p/p)
S	0,48 ± 0,11	0,071 ± 0,80
Cl	0,61 ± 0,040	0,70 ± 0,26
V	0,0028 ± 0,00031	0,0023 ± 0,00062
Cr	0,0029 ± 0,0014	0,0012 ± 0,018
As	0,00015 ± 0,00	0,00064 ± 0,00012
Sr	0,0023 ± 0,0012	0,016 ± 0,00058
Pb	0,00051 ± 0,000082	0,077 ± 0,0086

Cuadro 2. Propiedades del agua y la ceniza antes y después de la pirólisis.

pH del Agua antes de la pirólisis	pH del Agua después de la pirólisis	Biochar (% p/p)
5	4	69,09

En relación con las briquetas elaboradas, Los resultados de del proceso, a nivel de laboratorio y escala

piloto, se comparan en términos de las operaciones unitarias

involucradas, equipos, y caracterización de la briqueta elaborada ver cuadros 3 y 4.

Cuadro 3. Cuadro comparativo entre el proceso de elaboración del bloque combustible

Etapa del Proceso	Escala Laboratorio	Escala Piloto
Secado	La materia prima se coloca en un horno durante 15 min a 125°C.	Esta etapa fue descartada del proceso.
Molienda	Se utilizó una licuadora doméstica.	Se utiliza molino eléctrico del sector de 2 hp con capacidad de moler 100 g/min de broza.
Tamizado	Se utilizó Serie Tyler de Tamizado y se tomó la muestra recolectada en el tamiz 40 (0,425 mm).	Cedazo de 0,85 mm utilizado en el área de construcción.
Aglutinamiento	15 % p/p de agua/broza.	25% p/p de agua/broza.
Prensado	Prensa de Tornillo de 500 Kpa.	Prensa Hidráulica construida de 3 ton.
Secado Final	No determinado	96 horas al aire libre

Adaptación de la tecnología resultante escogida en conjunto con la comunidad a un estatus de tecnología artesanal

Con el fin de facilitar dicho proceso para los habitantes del sector cafetalero Caspo Abajo se hicieron modificaciones al proceso que no afectaran la calidad de las briquetas construidas, las etapas del proceso son las siguientes:

a) Triturado y Tamizado de la Materia Prima: la broza obtenida de la etapa de

trillado debe pasar por un molino con el fin de disminuir el tamaño de partícula y así facilitar la compactación de la briqueta. Para tal fin se realizaron dos experiencias utilizando el molino manual de maíz y otra utilizando el molino eléctrico (descrito anteriormente).

A la broza molida con ambos equipos se le realizó un estudio granulométrico para determinar el tamaño de partícula

que más facilitara la compactación de la broza de café, para ello se tamizó dicha biomasa haciendo uso del método Tyler.

Con la cantidad de broza recolectada en cada tamiz se realizaron pruebas de compactación utilizando agua como aglutinante, para cada muestra recolectada se hicieron dos rutinas variando la cantidad de agua entre 30 y 60% p/p de la mezcla, determinándose que a partir del tamiz 25 partículas menores a 0,85 mm la broza compacta sin dificultad alguna obteniéndose briquetas firmes y sólidas. Esto difiere con el trabajo realizado por (Hernández & Sibrian, 2013), que reportan un tamaño de partícula menor a 0,425 mm para la elaboración de sus briquetas.

Debido a que en la zona cafetalera no se cuenta con un equipo profesional de tamizado, por tanto, se ha propuesto el uso de mallas de cernir que sean capaz de separar la broza molida en partículas menores a 0,85 mm y partículas mayores, las partículas que queden sobre la malla deberán ser devueltas al molino.

b) Adición del Aglutinante: una vez obtenida la broza molida es necesario agregarle un aglutinante que facilite la compactación de la biomasa. Anteriormente, se determinó que el aditivo más idóneo para los habitantes de la zona es el agua, por tanto, se estudió la cantidad mínima de agua que debía

agregarse a cierta cantidad de broza molida para que ocurra la compactación del bloque combustible, determinándose así que la cantidad mínima a agregar debería ser el 25% p/p de la mezcla. Como se muestra en el cuadro 3 Hernández y otros en su trabajo realizado en el 2013, determinaron que un 15% p/p de agua se podría lograr una buena compactación, sin embargo, para esta investigación donde se busca la creación de bloques combustibles de forma muy artesanal se requirió incrementar un 25% p/p, de manera que al momento de compactar toda la broza molida se encuentre húmeda.

c) Prensado y Secado: como última etapa se encuentra la de prensado, en la cual la mezcla de broza-aglutinante se somete a presión para así lograr su compactación.

El equipo consiste en una estructura sencilla de hierro forjado y que utiliza un gato hidráulico manual de 3 toneladas que proporciona la fuerza necesaria para compactar la broza. Como molde se utilizaron tubos de hierro de 6,35 cm de diámetro y longitud 7 cm. El molde elegido da como resultados briquetas con las características que se muestran en la Figura 4. Una vez construida las briquetas se dejan secar durante un tiempo aproximado de 96 horas al aire libre para luego poder ser utilizadas. La prensa seleccionada y construida tiene la

capacidad de compactar cuatro briquetas a la vez.



Figura 4. Briqueta combustible a partir de broza de café.

En la Finca “San Isidro ubicada en Caspo Abajo, se cosechan aproximadamente 20000 Kg de granos de café anuales, que al ser trillados proporciona una cantidad aproximada de 5200 Kg de broza anuales. Utilizando el proceso descrito anteriormente se estima que se podrán fabricar 86667 briquetas/año. En una jornada de trabajo diaria de 8 horas se podrían fabricar 200 briquetas combustibles.

Evaluación del Producto

Las propiedades que se escogieron para la caracterización del producto se establecieron en función del competidor más similar, como lo es la leña obteniéndose los siguientes resultados plasmados en el Cuadro 4:

a) Tiempo de Ignición: los resultados muestran que el producto elaborado puede encenderse con mayor facilidad y

en menor tiempo que la leña. Es preciso señalar que generalmente a la leña debe agregársele cierta cantidad de combustible líquido tal que acelere el tiempo de ignición de la misma, sin embargo, las briquetas elaboradas con la broza del café no requieren la adición de ningún tipo de combustible fósil, lo que permite suponer que la materia prima usada para la elaboración de las briquetas posee un alto potencial energético, permitiendo que su tiempo de ignición sea corto y por ende implica menos cantidad de energía necesaria para su encendido, lo que hace un producto atractivo para los consumidores.

b) Tiempo de Combustión: se determinó el tiempo en que la briqueta construida y la leña se encontraban completamente encendido. El tiempo de combustión aproximado para las briquetas construidas a partir de la broza del café es de 106 minutos, mientras que el de la leña es aproximadamente de 62 minutos.

Esto se debe a que la broza es compactada de tal manera que se logra un área superficial mayor y se disminuye el contenido de aire en el interior, lo que se traduce a un incremento de la densidad y por ende a una combustión más lenta, tal y como lo señala (Martín, 1994). Por otro lado, la leña al ser proveniente de una corteza vegetal no se

encuentra cien por ciento compactada y posee cierto contenido de aire en su interior, originando que su densidad sea menor que la de la briqueta y que por ende la transferencia de calor y la combustión no ocurran de la misma forma.

c) Porcentaje de Desechos: el bloque combustible construido a partir de la broza del café proporciona aproximadamente un 10,05 % p/p de desechos mientras que la leña proporciona un 13,57 % p/p de desechos.

Estos resultados indica que se obtiene un producto más denso y de mayor área superficial, haciendo más efectiva la transferencia de calor, garantizando así un consumo de la muestra casi en su totalidad. El que las briquetas a base de broza de café proporcionen un bajo porcentaje de desechos suma puntos a favor a que estas sean utilizadas como un combustible suplementario al gasoil empleado en los secadores de café y a la leña usada en los fogones.

Cuadro 4. Caracterización del producto elaborado, a nivel piloto, respecto a la leña

Propiedad	Briqueta	Leña
Tiempo de Ignición (min)	1,56± 0,021	6,26 ± 0,19
Tiempo de Combustión (min)	105,65 ± 0,91	62,48 ± 0,20
Desechos (% p/p)	10,05 ± 0,42	13,57 ± 0,09

CONCLUSIONES

- El potencial de la broza del café, desde su caracterización, en términos del contenido de humedad, ceniza y poder calórico se encuentra del valor de referencia de la biomasa, para las propiedades mencionadas.
- Desde el punto de vista ambiental, los residuos gaseosos y solidos de la combustión de la broza, no son perjudiciales, ya que los agentes contaminantes como gases de óxidos de azufre se encuentran presentes en

cantidades muy bajas: y los metales pesados presentes en las cenizas, se evidencian en proporciones menores a 10 ppm.

- El proceso de fabricación de briquetas combustibles a partir de broza de café es sencillo desde el punto de vista de las operaciones involucradas, y la disponibilidad de estas en el sector del café. Al adecuarse al sector cafetalero, se simplifico en las siguientes etapas:

Triturado, Tamizado, Adición del aglutinante y Prensado.

- Se caracterizó el producto obtenido y sus resultados se compararon con la leña, reflejando mejores propiedades en tiempo de ignición, combustión y porcentaje de desecho.
- Se identificó un potencial emprendimiento para el desarrollo de este residuo sólido en el sector del café durante el periodo de no siembra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSI/ASTM D1105. (1979). *Annual Book of ASTM Standards. Parte 22 Madera y Adhesivos*. EEUU.
- ASTM D240-14. (2014). *Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimete*. West Conshohocken: ASTM International. Recuperado el 12 de Abril de 2018, de <https://www.astm.org/>
- ASTM E1621-13. (2013). *Standard Guide for Elemental Analysis by Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry*. West Conshohocken: ASTM International. Recuperado el 12 de Abril de 2018, de <https://www.astm.org/>
- Barragán, F. M. (15 de Junio de 2011). *bdigital*. Recuperado el 23 de Mayo de 2018, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4125/1/905057.2011.pdf>
- COVENIN 1553. (23 de Enero de 1980). *Productos de cereales y leguminosas. Determinación de humedad*. Caracas, Venezuela: COVENIN. Recuperado el 23 de Febrero de 2018, de <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1553-80.pdf>
- COVENIN 1783. (30 de Enero de 1981). *Productos de Cereales y Leguminosas. Determinación de Cenizas*. Caracas, Venezuela: COVENIN. Recuperado el 24 de Marzo de 2018, de <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1783-81.pdf>
- COVENIN 612. (27 de Enero de 1982). *Sencamer. Cereales-Leguminosas-Oleaginosas y productos derivados muestreo*. Caracas, Venezuela: COVENIN. Recuperado el 03 de Marzo de 2018, de

- Alzurú, A. & Cols./ CATEDEA Vol. 2: 77 - 91/ Enero – Diciembre, 2018. ISSN Digital: 2477-9288
<http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/612-82.pdf>
- Crespo, & Vargas. (2015). *Desarrollo de una tecnología artesanal para la elaboración de briquetas combustibles a partir de la broza del café*. Barquisimeto: UNEXPO.
- FAO. (2002). *Guía para encuestas de deamanda, oferta y abastecimiento de combustible de Madera*. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de UWET-Terminología Unificada sobre Dendroenergía:
<http://www.fao.org/docrep/005/Y3779S/y3779s12.htm>
- Gallo, L. (23 de Abril de 2018). *Ingenieroambiental*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/cafe.pdf>
- Guerrero, & Vargas. (2015). *Caracterización de la broza del café y su potencialidad como uso de combustible*. Barquisimeto: UNEXPO.
- Hernández, & Sibrian. (2013). *Propuesta para la elaboración de bloques combustibles a partir de biomasa generada en la producción de café*. Barquisimeto, Lara, Venezuela: UNEXPO.
- Hernandez, R., Carrasco, P., Mujica, R., & Espinola, M. (2007). Evaluación de la capacidad de adsorción de desechos agroindustriales para la remoción de ácido acético. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 22(3), 31 - 46. Recuperado el 3 de Marzo de 2018, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0798-40652007000300004&script=sci_abstract
- Jara Millar, H. (2009). Biomasa y sus Propiedades Como Combustible. *Revista Celulosa y Papel*, 24 - 29. Obtenido de <https://docplayer.es/17096995-Biomasa-y-sus-propiedades-como-combustible.html>
- Lopez, & Llea. (2010). *Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirolisis de biomasa residual*. España: Universidad Zaragoza.
- Martín, F. M. (23 de Junio de 2018). *Infomadera*. Obtenido de

http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2293_9990.pdf