

Elaboración manual de briquetas con residuos forestales

Román Carvajal; Edwards Sanzetenea; Fimo Alemán

Escuela de Ciencias Forestales - Universidad Mayor de San Simón

E mail: carvajal.rom@gmail.com

Resumen. Se plantea la utilización de residuos forestales (residuo vegetal, viruta, aserrín y acícula de pino) que mezclados con papel y agua, en diferentes combinaciones, permiten la producción de briquetas, prensadas manualmente, como una alternativa energética al uso de combustibles convencionales. Se estudiaron 15 tipos de mezclas o tratamientos. La producción de 10 briquetas se alcanzó en un tiempo de 15.9 a 16.9 minutos. Las mezclas 10, 7, 9 y 3, desde el mezclado hasta el acondicionamiento para secado, presentaron un tiempo promedio de 18 minutos. Entre las 15 mezclas, el menor tiempo de secado de las briquetas fue de 5 a 8 días correspondientes a las mezclas 4 y 5. El mayor tiempo registrado fue de 11 días para las mezclas 2 y 15. El contenido de humedad en base seca fue de 9.6 a 10.2% para las mezclas 13, 14, 8, 11 y 9. La densidad en base seca fue de 0.3 g/cm³ para los tratamientos 3, 13, 6, 11 y 9, sin diferencias significativas entre ellos. La resistencia al peso perpendicular a la longitud observada de las briquetas, fue de 34.42 kg para la mezcla 9. Se realizó la quema de las briquetas en secciones de 1, 2, 4 y 6 partes; en una cocina rústica para hervir dos litros de agua, controlándose el tiempo. Las mezclas 10 y 14 presentaron una mayor capacidad calorífica, con 13.1 y 13.9 minutos, estando seccionadas en 2 y 4 partes. El mejor tiempo observado para la combustión total de las briquetas, en 2 y 4 secciones, fue en las mezclas 12, 9 y 15, con 77.2, 68.9 y 68.6 minutos de energía calorífica en secciones de 2. Se consiguió un rendimiento promedio de 233 briquetas/día mediante un prensado con 424 kg, en la prensa manual. Las mezclas 10, 7, 9 y 3 tienen un mejor rendimiento de producción, con 249 a 263 briquetas/día, sin diferencias significativas. El costo para la elaboración de las briquetas se estimó en 0.86 Bs/briqueta.

Palabras clave: Ciencias forestales; Bioenergía; Capacidad calórica

Summary: Manual making of briquettes with forest residues. The use of forest residues (vegetable waste, shavings, sawdust and pine needles) that mixed with paper and water, in different combinations, allow the production of briquettes, manually pressed, as an alternative energy to the use of conventional fuels. 15 types of mixtures or treatments were studied. The production of 10 briquettes was reached in a time of 15.9 to 16.9 minutes. Mixtures 10, 7, 9 and 3, from mixing to conditioning for drying, had an average time of 18 minutes. Among the 15 mixtures, the shortest drying time of the briquettes was from 5 to 8 days corresponding to mixtures 4 and 5. The longest time recorded was 11 days for mixtures 2 and 15. The moisture content on dry basis was from 9.6 to 10.2% for mixtures 13, 14, 8, 11 and 9. The dry base density was 0.3 g / cm³ for treatments 3, 13, 6, 11 and 9, without significant differences between them. The resistance to weight perpendicular to the observed length of the briquettes was 34.42 kg for the mixture 9. The briquettes were burned in one piece, being sectioned in 2, 4 and 6 parts, in a rustic kitchen boil two liters of water, controlling time. Mixtures 10 and 14 had a higher heat capacity, with 13.1 and 13.9 minutes, being sectioned into 2 and 4 parts. The best time observed for the total combustion of the briquettes, in 2 and 4 sections, was in mixtures 12, 9 and 15, with 77.2, 68.9 and 68.6 minutes of heat energy in sections of 2. An average yield of

233 was achieved briquettes / day by pressing with 424 kgf in the manual press. Mixtures 10, 7, 9 and 3 have a better production yield, with 249 to 263 briquettes / day, without significant differences. The cost for the preparation of the briquettes was estimated at 0.86 Bs / briquette.

Keywords: Forest Sciences; Bioenergy; Heat capacity

Introducción

En el Mundo, un promedio de tres mil millones de personas, utilizan leña como combustible para fines de cocina y calefacción, de las cuales dos mil millones 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).

Desde el año 1992 hasta el 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. El término briqueta es confuso, puesto que ésta puede estar fabricada con uno o más materiales compactados (desechos de biomasa). La materia prima de la briqueta puede ser biomasa forestal, residual industrial, residuos urbanos, carbón vegetal o una mezcla de ellas (García *et al.* 1997).

El presente estudio pretende generar información, metodologías sobre una técnica de aprovechamiento y rendimiento de desperdicios vegetales, forestales y agrícolas, para transformarlos en un producto alternativo al uso y/o sustituto de la leña tradicional.

El objetivo general fue estudiar el rendimiento y las características físicas en la elaboración manual de briquetas, a partir de diferentes residuos forestales en la ESFOR/UMSS, para contribuir en la obtención de alternativas bioenergéticas en el departamento de Cochabamba.

Por lo mencionado los objetivos de este estudio fueron:

- (i) Determinar los tiempos en los procesos de elaboración de briquetas en una prensa briqueteadora manual, fabricada para el estudio, con el uso de residuos forestales en diferentes mezclas identificadas.
- (ii) Determinar las características físicas de las briquetas producidas (contenido de humedad, densidad, fragilidad, resistencia y capacidad calorífica), con procedimientos empíricos.
- (iii) Comparar el rendimiento de producción y las características físicas de las briquetas.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en los ambientes de la Escuela Ciencias Forestales ESFOR/UMSS en la ciudad de Cochabamba.

Primeramente se procedió con la construcción de la prensa briqueteadora y un equipo homogeneizador manual, para la elaboración de las briquetas (Figura 1).

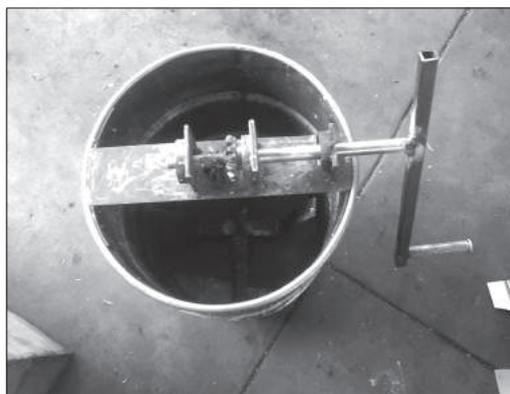


Figura 1. Fabricación de la prensa briqueteadora (izquierda) y del equipo homogeneizador o mezcladora (derecha)

El trabajo se realizó en la provincia Cercado, en la zona temporal, ubicada al Norte de la ciudad de Cochabamba.

Recolección de la materia prima

Residuo de podas: El material se obtuvo de los árboles en los que se realizaron tratamientos silviculturales (podas), ubicados en la ESFOR/UMSS. Una vez obtenidas las ramas, hojas, pastos, tallos y flores, se procedió al desmenuzamiento con una máquina picadora, obteniendo dos bolsas (36 baldes de 5 litros) de desmenuzamiento de residuo vegetal.

Acícula de pino: El material se recolectó de zonas por debajo de los árboles de pino, en cuatro bolsas en el Parque Tunari. Se procedió al desmenuzamiento con la máquina picadora y se obtuvo dos bolsas (36 baldes) de este material vegetal.

Viruta de madera: El material de viruta se obtuvo de la carpintería de la ESFOR/UMSS que es el residuo del cepillado y de la gruesadora de madera. Este material corresponde a trocitos u hojuelas muy delgadas de madera, que normalmente se enroscan como consecuencia de la estructura de la madera; se obtuvo dos bolsas (36 baldes) de viruta.

Aserrín de madera: El aserrín de madera se consiguió de la carpintería de la ESFOR/UMSS, en una cantidad de dos bolsas (36 baldes).

Papel bond: Se recolectó el papel reciclable en la misma ESFOR/UMSS, a partir de papel bond de docentes y administrativos; se procedió al picado (lo más pequeño posible), obteniendo cinco bolsas (90 baldes); este material se utilizó como aglutinante.

Mezclado de los residuos forestales en el equipo homogeneizador

La cantidad que se utilizó en cada una de las mezclas de los residuos forestales, se determinó mediante el proceso de la homogeneizadora (equipo mezclador construido), la cual se realizó en tres repeticiones por mezcla; inmediatamente se procedió a registrar la cantidad de mezcla utilizada, el proceso de mezcla siguió los siguientes procedimientos:

- Remojo del papel bond picado en 24 horas, en tachos con 2 baldes de agua (10 litros).
- Colocado a la mezcladora (homogeneizadora) 4 baldes de residuos forestales.

- Inmediatamente se añadió otros 3 baldes de agua (15 litros).
- Después se procedió a la rotación manual, para el movimiento de las cuchillas internas de la mezcladora, hasta obtener una mezcla homogenizada de masa acuosa espesa y consistente.

Los diferentes tipos de mezclas que se utilizaron en el presente estudio, se detallan en el Cuadro 1.

Fabricación de las briquetas

Se fabricó las briquetas con cada una de las mezclas de residuos forestales, de manera independiente, y en las mismas proporciones de mezcla, en base a los siguientes pasos:

Paso 1. Vaciado en el molde de la briqueteadora: Se realizó el vaciado de las distintas mezclas en el molde de la briqueteadora, colocando a la caja del molde donde se agrega dos vasos de mez-

cla de residuos forestales en cada orificio del molde, de acuerdo a la cantidad requerida para obtener briquetas de un grosor de 5 a 6 cm de espesor, aproximadamente, considerando el requerimiento de presión y según características de cada mezcla.

Paso 2. Prensado de las mezclas en el molde: Se realizó el prensado reduciendo el volumen por medio de presión, haciendo fuerza con la palanca. Al ejercer esta presión se eliminan los vacíos internos y se escurre el agua hasta que la compactación de las mezclas vaya formando un cuerpo sólido (materia), el grado de compactación influirá en el tamaño de la briketa y también en la resistencia del mismo material. Se busca hacer una briketa de biomasa de alta densidad. Para calcular la fuerza a aplicar en la prensa, para la elaboración de las briquetas, se utilizó la fórmula de *ley de palancas de segundo grado*, y de esa manera conocer la densidad de las piezas.

Cuadro 1. Componentes de residuos forestales para diferentes tipos de mezclas para la elaboración de briquetas

Tratamiento	Materiales de briquetas
Mz 1	Agua, papel y residuo vegetal
Mz 2	Agua, papel y viruta
Mz 3	Agua, papel y aserrín
Mz 4	Agua, papel y acícula de pino
Mz 5	Agua, papel, aserrín y viruta
Mz 6	Agua, papel, residuo vegetal y aserrín
Mz 7	Agua, papel, residuo vegetal y viruta
Mz 8	Agua, papel, residuo vegetal y acícula de pino
Mz 9	Agua, papel, aserrín y acícula de pino
Mz 10	Agua, papel, viruta y acícula de pino
Mz 11	Agua, papel, residuo vegetal, aserrín y viruta
Mz 12	Agua, papel, aserrín, viruta y acícula de pino
Mz 13	Agua, papel, residuo vegetal, aserrín y acícula de pino
Mz 14	Agua, papel, residuo vegetal, viruta y acícula de pino
Mz 15	Agua, papel, residuo vegetal, aserrín, viruta, acícula de pino

Paso 3. Dimensionado de las briquetas: El molde de la briqueteadora está diseñado para fabricar, de un solo aplastamiento con la prensa, cuatro briquetas de 20 cm de largo, 10 cm de ancho y 5 a 6 cm de espesor.

Secado natural de las briquetas

Luego del proceso de compactación, las briquetas (crudas) presentan un alto contenido de humedad. Las briquetas, apenas formadas, se pesaron, luego, aprovechando las condiciones ambientales, se procedió al secado al sol, facilitando la deshidratación de la biomasa, que dependió de las temperaturas del ambiente. A medida que se realizó el proceso de secado, se registró el peso de manera periódica, hasta evidenciar un peso constante, el cual se registró como peso seco (peso final). Con estos registros se puede conocer el contenido de humedad inicial en condición húmeda y seca.

Determinación de las características físicas de las briquetas

Cálculo de contenido de humedad en base húmeda: Según Soto & Núñez (2008), para determinar el contenido de humedad en base húmeda, se utilizó una ecuación que consiste en hallar los valores de peso húmedo y seco de cada una de los bloques experimentales elaborados, donde el resultado se muestra como % de contenido de humedad, en base a la siguiente relación.

$$CH (\%) = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso seco}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Considerando que el peso inicial es el peso húmedo.

Densidad en base seca de las briquetas: Según Contreras (2009), la densidad es el grado de compactación que posee un

material, es decir cuanto material se encuentra comprimido en un espacio determinado. La densidad está dada en gramos o kilogramos y se determina por la cantidad de masa de un material, dividido por la unidad de volumen. La briqueta que presente mejores propiedades es aquella que tenga mayor densidad.

Ensayo de resistencia perpendicular de las briquetas: El ensayo de la ruptura de las briquetas se hizo de la siguiente manera: se colocó dos piezas de apoyo a ambos lados de un metro de altura, esto para colocar la briqueta en ambas puntas. Se aplicó la carga (peso) al balde de forma lenta (pieza por pieza) y se hizo las lecturas para cada tipo de briqueta, determinando la fuerza de ruptura en el momento del rompimiento de las briquetas. La interpretación parte de cuanto más peso aguante la briqueta hasta su ruptura, será mejor su resistencia perpendicular y este también será según la longitud de la briqueta.

Capacidad calorífica con el método práctico: Para el cálculo de capacidad calorífica, se realizó el ensayo de quemar las briquetas enteras, seccionadas en 2, 4 y 6 trozos, en las mismas condiciones y el mismo número de briquetas, esto para obtener mejor capacidad del fuego. Se utilizó una cocina rústica (lata de mantequilla) con aberturas para el flujo de aire, con una parrilla intermedia para el acomodado de las briquetas y otra parrilla por encima, para el colocado de la olla. Para el encendido de las briquetas, se utilizó un encendedor rápido, se colocó 2 litros de agua en una olla de aluminio normal, para luego registrar el tiempo de ebullición del agua. Se parte del razonamiento que aquellas briquetas que logren hacer hervir el agua en menor tiempo, tendrán la mejor capacidad calorífica, es decir tendrán una alta combustión.

Cálculo de rendimiento en producción de briquetas: Se procedió al registro de tiempos, tanto para el mezclado de los residuos forestales como para la elaboración manual de briquetas (tiempo final empleado por un trabajador en la elaboración de briquetas). El tiempo se determinó en base a las siguientes tres fases:

T1= tiempo del proceso de mezcla de los diferentes residuos.

T2= tiempo del proceso de elaboración de las briquetas en el prensado manual hasta el acomodado en el secado.

T3= tiempo de secado de las briquetas al aire libre.

Para el cálculo de rendimiento (por hora y día), en la elaboración de las briquetas, se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

Rendimiento (briquetas/día).

Elaboración de briquetas por mezcla, (10 briquetas con tres repeticiones).

Registro de tiempo (minutos) en el proceso de elaboración de briquetas por mezclas.

Según Streit & Nagy (1988), de acuerdo a la definición del concepto “trabajo”, se puede deducir el concepto de rendimiento. Se considera que un trabajo *ha tenido rendimiento*, cuando ha sido realizado y concluido con una relación favorable entre el trabajo cumplido y el esfuerzo necesario. El concepto rendimiento, como base central de la ciencia del trabajo, proviene de la relación rendimiento y volumen del trabajo (especialmente del tiempo usado), en base a la siguiente relación.

$$R = Up / Ut$$

donde:

R= Rendimiento

Up= Unidad de producción (piezas, m³, kg, g, etc.).

Ut= Unidad de tiempo (minutos, horas, etc.)

Análisis estadístico

El análisis estadístico se trabajó con un 99% de probabilidad, en base a un diseño experimental para las variables de respuesta: rendimiento, características físicas, contenido de humedad en base seca, densidad en base seca y resistencia perpendicular a las briquetas.

En base al modelo estadístico definido, se obtuvo el ANVA para probar las hipótesis planteadas, aplicando un diseño experimental completamente aleatorio no estructurado, con al menos tres repeticiones.

Resultados y discusión

Tiempo en los procesos de elaboración de briquetas

Las mezclas 10, 7, 9 y 3 presentaron un mejor tiempo de elaboración, con 15.93 a 16.90 minutos, seguidos de las mezclas 12, 8 y 2, con tiempos de elaboración de 17.54 a 17.65 minutos.

Compactación manual de las mezclas en la prensa briqueteadora

La compactación se realizó para cada tipo de mezcla con el equipo briqueteador, ejerciendo presión con la palanca; obteniéndose las siguientes dimensiones

por briqueta: largo 20 cm, ancho 10 cm, espesor de 5 a 6 cm. Con este prototipo de equipo, la fuerza que ejerce una persona, en promedio, es de 424 kg_f, esto permite obtener una pasta compacta húmeda que se extrae y se deja secar al sol.

Tiempo de secado de las briquetas

El tiempo de secado de las briquetas variaron de 5 a 13 días y con relación al peso estos variaron de 240.35 a 310.02 g/briqueta, correspondientes a la mezcla 2 el menor y el mayor a la mezcla 5, así como se muestra en el Cuadro 2.

Contenido de humedad en condición húmeda

Las mezclas 8, 13, 14 y 4, presentaron menor contenido de humedad, con 67.07% a 68.64%, seguido de las mezclas 11, 9, 12, 3, 1, 15, 7, 6 y 10, con 69.56% a 71.19%, y los que presentaron mayor contenido de humedad fueron las mezclas 2 y 5, con 73.97% y 75.44% en condición húmeda.

Densidad en base seca de las briquetas

Las mezclas 3, 13, 6, 11 y 9 presentaron mejor densidad en base seca, con 0.25 a 0.27 g/cm³, seguido de las mezclas 15, 7, 12 y 14, con densidad en base seca de 0.23 a 0.24 g/cm³. La densidad en base seca, que no mostró consistencia, se dio en las mezclas 10 y 4, con 0.18 a 0.18 g/cm³. Estos valores dependen de la presión ejercida por el equipo briqueteador.

Cuadro 2. Peso y tiempo de secado (al sol) de briquetas obtenidas a partir de 15 mezclas de residuos forestales

Tipos de mezcla	Tipo de materiales (tratamiento)	Peso (g/briqueta)	Días secado
Mezclas puras	Agua, papel y acícula de pino (Mz 4)	280.52	5 a 8
	Agua, papel y vegetal (Mz 1)	295.15	9 a 11
	Agua, papel y aserrín (Mz 3)	349.60	9 a 12
	Agua, papel y viruta (Mz 2)	240.35	11
Mezclas dos	Agua, papel, aserrín y viruta (Mz 5)	310.02	8 a 10
	Agua, papel, aserrín y acícula de pino (Mz 9)	303.73	9 a 10
	Agua, papel, vegetal y viruta (Mz 7)	255.87	9 a 13
	Agua, papel, vegetal y aserrín (Mz 6)	296.94	10 a 12
	Agua, papel, vegetal y acícula de pino (Mz 8)	279.56	10 a 12
	Agua, papel, viruta y acícula de pino (Mz 10)	249.09	10 a 12
Mezclas tres	Agua, papel, aserrín, viruta y acícula de pino (Mz 12)	300.32	9 a 10
	Agua, papel, vegetal, aserrín y viruta (Mz 11)	293.51	10 a 11
	Agua, papel, vegetal, aserrín y acícula de pino (Mz 13)	291.58	10 a 12
	Agua, papel, vegetal, viruta y acícula de pino (Mz 14)	252.96	10 a 12
Mezcla cuatro	Agua, papel, vegetal, aserrín, viruta, acícula de pino (Mz 15)	251.53	11
Promedio		283.59	9

Resistencia perpendicular de las briquetas

La mezcla 9 presentó mejor resistencia al peso perpendicular según la longitud de las briqueta, con 34.42 kg de peso, seguido de las mezclas 4 y 8 con 26.97 a 27.82 kg. La ruptura al peso perpendicular a la longitud de las briquetas con menor resistencia, se presentó en la mezcla 3, con 12.99 kg.

Capacidad calorífica de las briquetas

La mezcla 10 presentó el menor tiempo para hervir 2 litros de agua, con un tiempo de 13.07 minutos en seccionado 4; la mezcla 14 registró un tiempo de 13.86 minutos en seccionado de 2, seguido de la mezcla 15 con un tiempo de 16.61 minutos y la mezcla 10 con un tiempo de 16.78 minutos en secciones de 2. Por último, la mezcla 12 registró un tiempo de 17.05 minutos y la mezcla 11, 17.75 minutos seccionado en 4.

El tiempo que duran las briquetas para combustionarse, en la mezcla 12, registró un tiempo de 77.24 minutos en secciones de dos partes, siendo este el mejor valor. La mezcla 3 se mantuvo por un tiempo de 68 minutos seccionado en 4, seguido de la mezcla 3 con un tiempo de 74.21 minutos en secciones de 2 como también la mezcla 13, que registró un tiempo de 63.09 minutos seccionado en 4 y por último, la mezcla 9 con un tiempo de 68.88 minutos, la mezcla 15 con 68.64 minutos y la mezcla 13 con un tiempo de 68.32 minutos seccionado en 2. La mezcla 12 registró un tiempo de 59.03 minutos seccionado en 4.

Rendimiento en la elaboración de briquetas

Las mezclas 10, 7, 9 y 3 presentan mejor rendimiento de producción, con 249 a 263 briquetas/día, seguido de las mezclas 12, 2 y 8 con rendimientos de 237 a 238 briquetas/día. El menor rendimiento se presentó con la mezcla 1, con 195 briquetas/día.

Conclusiones

- El tiempo de elaboración de briquetas con residuos forestales de forma manual, alcanzó un promedio de 18 minutos para 10 briquetas, valor que se podría mejorar si la producción fuera de manera continua.
- Según la metodología empleada en presente trabajo, el rendimiento promedio de producción diaria alcanzado fue de 233 briquetas; con un mejor rendimiento de 249 briquetas/día.
- El tiempo promedio de secado de las briquetas es de 9 días. Para las mezclas que contenían acículas de pino, este tiempo fue menor y para las que presentaban residuos vegetales con aserrín, se requirió mayor tiempo, con una variación de ± 2 días, en condiciones de temperatura variable de 12°C a 29°C.
- El contenido de humedad en condición húmeda de las briquetas, varía de 67.07 a 75.44%; de los cuales las mezclas con residuos vegetales y acículas de pino, presentaron menores valores y los que tenían viruta contenían mayor grado de humedad.

- La densidad en base seca de las briquetas, con las diferentes mezclas, varía entre 0.18 a 0.27 g/cm³; aquellas mezclas que contenían aserrín presentaron mejores densidades y con residuos de acículas de pino y viruta, menores densidades. Se debe tomar en cuenta que las densidades se pueden mejorar, si acaso se incrementa la fuerza en el palanqueo del prensado.
- La resistencia al peso perpendicular a la longitud de las briquetas, varía de 12.99 a 34.42 kg; las mezclas con acículas de pino resistieron mejor y las que contenían aserrín y viruta, mostraron menor resistencia.
- Para la capacidad calorífica (quema de briquetas) en tiempo de ebullición de dos litros de agua; las briquetas seccionadas en 4 y 2 partes, quemaron en mejores tiempos 13.07 a 17.05 minutos), estas corresponden a las mezclas que contienen viruta y acícula de pino, seguido de aquellos con aserrín con viruta o con acícula de pino.
- En cuanto al tiempo de duración de combustión (hasta volverse cenizas), los mejores tiempos se presentaron en las mezclas que contenían residuos de aserrín, viruta y acícula y seccionados en dos partes.
- El costo de las briquetas, tomando en cuenta los costos de equipos, rendimiento de elaboración de briquetas, costo de residuos, costo de papel bond, costo de agua, costo de gasolina, costo de materiales para la fabricación y mano de obra, es de 0.86 Bs/briqueta.

Referencias citadas

- Contreras B. 2009. Diseño y cálculos de una máquina para producir briquetas de urea. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Tesis Lic. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 220 p.
- FAO. 1999. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Madera, fuente de energía. Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales. Unasylva. Vol. 33. Roma, Italia.
- García B., Marcos M., Fernández L. 1997. Biocombustibles sólidos y líquidos forestales (p. 189-194). *En línea*. Disponible en: www.secforestales.org/buscador/pdf/2CFE06-031.pdf Consultado en octubre de 2016.
- Legacy Foundation. 2003. Fuel Briquettes: Theory and Applications From Around the World. USA. 26 p.
- Soto G., Núñez M. 2008. Fabricación de pellets de carbonilla, usando aserrín de *Pinus radiata* D. Don, como material aglomerante. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. Talca, Chile. 10 p.
- SHE. 2004. Solar Household Energy. La Crisis. *En línea*. Disponible en: <http://www.she-inc.org> Consultado el 27 de mayo de 2010.
- Streit M., Nagy J. 1988. Manual del Técnico Forestal. Misión Forestal Alemana, GTZ-UMSS. Cochabamba, Bolivia. 118 p.

Trabajo recibido el 11 de marzo de 2019 - Trabajo aceptado el 18 de junio de 2019