

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA DE BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE CAFÉ (*Coffea spp*) FRENTE A LEÑA DE ESPINO (*Vachellia macracantha*) Y EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus labill*)

Moraima Cristina Mera Aguas¹
Edwin Andrés Simbaña Villarreal²

Autor para correspondencia: mmera@pucesi.edu.ec

¹ Docente de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales

² Docente de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales

Manuscrito recibido el 15 de marzo de 2016
Aprobado tras revisión el 30 de Junio de 2016

RESUMEN

El Ecuador ha puesto en marcha el cambio de la matriz energética como una estrategia para fortalecer el desarrollo económico y social, usando de manera sustentable las fuentes primarias de energía y cambiando los patrones de consumo en los diferentes sectores de la economía, promoviendo de esta manera su uso racional y eficiente. Uno de los recursos energéticos todavía usado en el sector rural es la leña, así como en ciertas actividades productivas que requieren energía para sus procesos de cocción, tal es el caso de la elaboración de ladrillos, pan, panela y en calderos artesanales o chimeneas, cuyo consumo presiona fuertemente sobre los bosques, ocasionando deforestación y, con ello, la pérdida de biodiversidad en los diferentes ecosistemas.

En el país se produce abundante cáscara de café que constituye el endocarpio del grano, el mismo que es retirado en la fase industrial; este desecho produce contaminación ambiental ya que termina en un río o debe ser quemado. Sin embargo es un material estratégico por su contenido de lignocelulosa, el cual al ser combustionado desprende gran cantidad de energía.

Esta investigación demuestra que la cáscara de café formando un bloque sólido (briqueta), posee un poder calorífico que supera ampliamente a la leña convencional. La briqueta compactada logra 4162, 31 K. cal. Kg⁻¹, y si se mejora su densidad triturando el material alcanza 4319,98 K. cal. Kg⁻¹, si se compara con la leña de Eucalipto de 2173,90 K. cal. Kg⁻¹ y de Espino 2236,24 K. cal. Kg⁻¹ existe una diferencia altamente significativa, por lo que se concluye que la biomasa compactada es un alternativa energética de alto poder calorífico y que puede ser usada por su eficiencia energética como una estrategia para disminuir la presión sobre el bosque y evitar la deforestación con sus efectos negativos.

Palabras Claves: biomasa, briqueta, lignocelulosa, poder calorífico, cáscara de café.

ABSTRACT

Ecuador has launched the change of the energy matrix as a strategy to reinforce the economic and social development, using sustainably primary energy sources and changing consumption patterns in different sectors of the economy, thus promoting its rational and efficient use. One of the energy resources still used in rural areas is wood in certain productive activities that require energy for their cooking process, as in the case of the production of bricks, bread, brown sugar, and handmade pots or chimneys whose energy consumption press strongly on forests, producing deforestation and thereby causing the loss of biodiversity in different ecosystems.

In the country, a great deal of coffee husk is produced, this material is the endocarp of the grain, removed during the industrial phase and whose waste causes environmental pollution because it ends in a river or is burned. However, it is a strategic material for its content of lignocellulose which releases a large amount of energy when it is burned.

This research shows that coffee shell forming a solid block (briquette), exceeds conventional wood by its heating value. The compacted briquette achieves 4162, 31 K.cal. Kg⁻¹, and if its density is improved by grinding the material it reaches 4319.98 K.cal. Kg⁻¹. Compared with eucalyptus wood 2173.90 K.cal. Kg⁻¹ and Espino 2236.24 K.cal. Kg⁻¹ there is a highly significant difference, so it is concluded that the compacted biomass is a high calorific value alternative energy and can be used for its energy efficiency as a strategy to reduce the pressure on forests and avoid deforestation and its negative effects.

Key words: biomass, briquettes, lignocellulose, calorific value, coffee husk.

INTRODUCCIÓN

En la economía ecuatoriana la energía es fundamental para el desarrollo del país. Según el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, los principales sectores demandantes son: transporte (49,90%), residencial (13,88%) y la industria (9,40%) (Carvajal, 2011).

La demanda doméstica de energía se compone principalmente de derivados de petróleo (79%), electricidad (13%), biomasa -leña, bagazo y otros- (5%), y el resto (2%) productos no energéticos como carburantes y otros (SENPLADES, 2009). Según el INEC, el 6,8% de los hogares utilizan leña para cocción, especialmente en el sector rural.

Las especies arbóreas usadas como leña están en función del mercado, su disponibilidad y del ecosistema donde se desarrollan, así en el callejón interandino es común el uso de especies nativas como es el caso del espino (*Vachellia macracantha*), el cual se destaca por su aptitud para obtener carbón. (Suarez, 2008), (Paredes & Rosero, 2007), (Inga & Tehanga, 2006), (Hernández, 2006), (Valencia, 2006) y el eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*), especie que provee de una leña dura, arde bien y no deja mucha ceniza en la combustión. Al ser el espino una especie nativa está seriamente amenazada, aunque su potencial es la restauración ecológica de ecosistemas degradados (Aguirre, 2012).

La ciencia de los materiales en los últimos años ha puesto especial interés por los residuos lignocelulósicos puesto que se han logrado obtener algunas aplicaciones químicas, estructurales o energéticas importantes y esto se debe a la obtención de productos partir de fuentes renovables que sustituyan total o parcialmente la utilización de combustibles fósiles (Simbaña & Mera, 2011).

Se trata entonces de materias primas de bajo valor añadido que presentan una alta rentabilidad frente a los combustibles derivados del petróleo. Por ejemplo la potencia calorífica de 1 kilo de briquetas de bagazo de caña, oscila entre 4.000 y 5.000 K.cal. Kg⁻¹. Esto significa que se necesita un poco más de 2 Kg. de briquetas para producir el mismo rendimiento de calor de 1 litro de gasolina (10.200 K.cal. Kg⁻¹) o 1 tonelada de briquetas para reemplazar a 350 de combustible (Báez, 2012).

El biocombustible sólido o briqueta no es más que el producto obtenido de la compresión de residuos homogéneos lignocelulósicos que por lo general a no ser utilizados adecuadamente se convierten en agentes graves de contaminación y problemas ambientales (Diovskiy, Pinchardo, Rodríguez, A., Martínez & Rodríguez, K. 2014), éstos residuos como las cascadas de semillas (algodón, arroz, maní, girasol) y desechos de las procesos agroindustriales como el bagazo de caña, aserrín de madera, tostado de café y otros, poseen importantes características como combustible al ser bien tratado y con un efecto global positivo sobre el ambiente con respecto al uso de los combustibles fósiles o de la misma leña que se utiliza en calderos, hornos (cerámica, ladrillos, panadería), chimeneas domésticas entre otros usos, ya que se obtiene un mejor rendimiento masa/calor y de disminuye la emisión de humo, olores fuertes y material particulado (Vera, A. 2014).

Es un producto 100% amigable con el ambiente, considerado como energía sólida su presentación es de forma cilíndrica y puede estar compuesta por una variedad de materiales residuales de los procesos industriales (Báez, 2012).

Una de las ventajas de este producto compactado es el alto poder calorífico. Una briqueta de residuos lignocelulósicos en promedio puede superar las 3500 K.cal. Kg⁻¹ en comparación de la leña que bordea los 2300 K.cal. Kg⁻¹ ("O briquete alternativa energética" 2016).

Además de esto también es importante su aporte con el cuidado ambiental ya que se reciclan materiales, posee regularidad térmica, de rápido encendido por su baja humedad, mayor temperatura de la llama, fácil manejo (transportación y almacenamiento), menor contaminación y, sobre todo, reduce la presión sobre el recurso bosque especialmente para la obtención de leña (Báez, 2012).

Esta investigación usó los desechos del proceso de pulido del café puesto que es un residuo lignocelulósico que no tiene valor agregado y es un contaminante de la industria de tostado de café ya que el material para poder ser eliminado se lo quema o se lo deposita en una fuente hídrica. El procesarlas para obtener cargas energéticas es una alternativa válida (Rathinavelu & Graziosi, 2005), inclusive para pequeñas empresas. (Fonseca et al., 2011). Las briquetas de cáscara de café tienen un 25% más de capacidad energética frente a leña de pino lo que pueden ayudar a disminuir el consumo de leña (Dicovski et al., 2014).

Según la Organización Mundial del Café, en el año 2015 Ecuador produjo 42.000 toneladas de café pergamino, lo que equivale a 8.820 toneladas de cáscara según el índice de conversión 0.21 (Fonseca et al., 2010). Materia prima que no tiene uso industrial pese a ser una importante fuente de energía. Su poder calorífico es de 4052,19 K. cal. Kg⁻¹. Otros autores reportan 4361,32 K. cal. Kg⁻¹ en promedio (Fonseca et al., 2010), (Roa et al., 1999), citado por (Rodríguez & Zambrano, 2010), (Suarez, Beaton, Luengo & Fonseca, 2003). Además producto de la combustión no presenta demasiada ceniza como otros materiales que perjudican la corrosión de hornos (Mhilu, 2014).

El objetivo de la investigación fue determinar la capacidad calorífica y su potencial uso como biocombustible sólido de la cáscara de café prensada (briqueta) frente a especies energéticas más usadas como el espino y el eucalipto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados fueron: cáscara de café seca al 10% de humedad, leña común de Espino - (*Vachellia macracantha*) y Eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*). Los equipos de laboratorio fueron: bomba calorimétrica., balanza desecadora., balanza analítica, estufa, horno mufla, termo-prensa 50t, moldes de acero, entre otros.

Esta investigación se desarrolló en los laboratorios de Materiales y de Química Analítica de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la PUCE-SI. La cáscara de café fue proporcionada por la Asociación de Caficultores Rio Intag de la provincia de Imbabura al norte del Ecuador y la leña en los mercados de la localidad.

A partir de este material se realizaron dos tipos de briquetas, aquellas que únicamente se compactaban sin ningún tratamiento adicional y otras a las que fue necesario primero triturar el material en un molino – homogenizador para disminuir considerablemente el tamaño de partículas y lograr una mejor densidad y compactación.

Las briquetas se elaboraron en una Termo-Prensa de 50t y luego se determinó el poder calórico utilizando una Bomba calorimétrica. Adicionalmente se determinó el calor neto de las especies utilizadas (Eucalipto y Espino) como explica la Tabla 1.

Fase	Equipo	Condiciones
Tratamiento de muestra	Estufa	Temperatura: 110°C Tiempo: El necesario hasta reducción de humedad al 10%
Prensado	Termo-prensa	Temperatura: 220°C Tiempo prensado: 20 min Presión nominal: 2200 PSI (en dos momentos)
Curado	Estufa	Temperatura: 40°C Tiempo: 2 horas

Tabla 1.
Condiciones establecidas para el ensayo

Fuente:

Moraima, M. & Simbaña, A., 2016



Figura 1.
Briqueta de cascara de café

Fuente:
Moraima, M. & Simbaña, A., 2016

La hipótesis que se planteó en esta investigación fue la siguiente:

¿El poder calorífico del biocombustible sólido a base de cáscaras de café es mayor al de leña de Espino y Eucalipto?

Para establecer si existía diferencia significativa entre grupos experimentales y verificar la hipótesis, se utilizó una prueba t al 95% de probabilidad.

Los tratamientos representan las formas de preparar la briqueta: cáscara de café compacta (C) y cáscaras de café triturada y compacta (T-C). Estos dos tipos de biocombustible se compararon frente a la leña de Eucalipto y Espino.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de poder calorífico entre la briqueta compactada (C) vs triturada y compactada (T-C)

Una vez obtenidas las briquetas se analizó entre ellas para determinar la existencia de diferencia estadística ya que el valor del poder calorífico expresado en K. cal. Kg⁻¹, son muy parecidos. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

B. Compactada	Poder Calorífico K. cal. Kg ⁻¹	B. Triturada y Compactada	Poder Calorífico K. cal. Kg ⁻¹
BC1	4163,83	B TC1	4421,27
BC2	4160,80	B TC2	4206,70
BC3	4162,32	B TC3	4313,99

Tabla 2.
Poder calorífico de Briqueta Compactada y Briqueta Triturada Compactada

Fuente:
Moraima, M. & Simbaña, A., 2016

La prueba no determina diferencia significativa, por lo tanto el valor energético de los dos tipos de briquetas es igual. El tratamiento de la materia prima para la elaboración del biocombustible o carga energética no es determinante al contenido calórico. Pero es superior al de la materia prima en su estado natural 4052,19 K. cal. Kg⁻¹, es decir que la briqueta genera más energía que la cascara.

Análisis de poder calorífico entre la Briqueta Compactada (BC) frente a leña de Espino (ES) y Eucalipto (EU).

Los datos para la comparación son los siguientes:

B. Compact	Poder Calorífico K. cal. Kg ⁻¹	Espino	Poder Calorífico K. cal. Kg ⁻¹	Eucalipto	Poder Calorífico K. cal. Kg
BC1	4163,83	ES1	2235,61	EU1	2172,92
BC2	4160,80	ES2	2228,88	EU2	2170,48
BC3	4162,32	ES3	2244,25	EU3	2178,31

Tabla 3.
Poder calorífico de la Briqueta Compactada (C), versus leñas en estudio

Fuente:
Moraima, M. & Simbaña, A., 2016

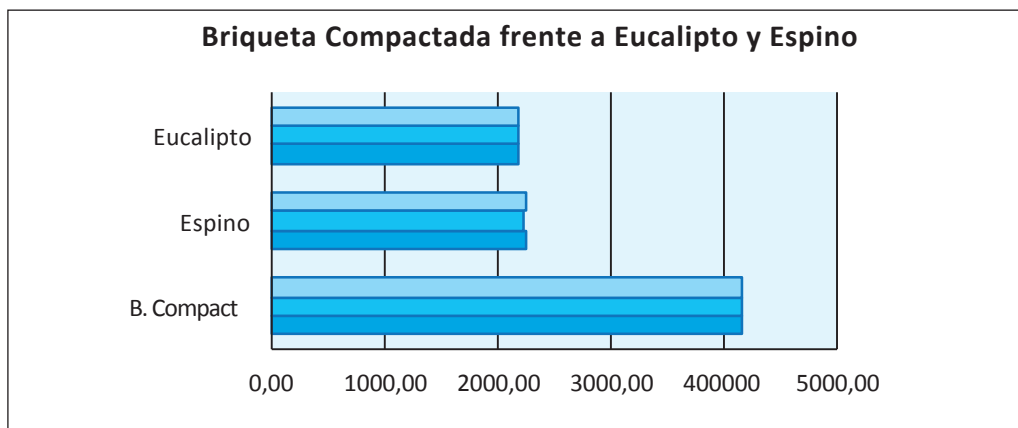


Figura 2.
Poder calorífico de la Briqueta Compactada frente a leña de Eucalipto y Espino

Fuente:
Moraima, M. & Simbaña, A., 2016

Nota. Las barras representan los valores del poder energético de cada material comparado.

Como se puede observar, el poder calorífico de la briqueta compactada es superior a la leña de eucalipto y espino. Al aplicar la prueba de significancia determina que existe una diferencia estadística significativa del valor energético de la briqueta compactada frente a los dos tipos de leña. Como lo demuestra la Tabla 4.

	B. Compac	Espino	Eucalipto
Media	4162,318	2236,246	2173,903
Varianza	2,298	59,363	16,052
Observaciones	3	3	3
P(T<=t) dos colas		1,84x10 ⁻¹⁰	1,43x10 ⁻¹¹

Tabla 4.
Prueba t para Briqueta Compactada frente leña de Espino y Eucalipto

Fuente:
Moraima, M. & Simbaña, A., 2016

Análisis del poder calorífico entre la Briqueta Triturada y Compactada (T-C) frente leñas en estudio

Los datos para la comparación son los siguientes:

B. Compactada y Triturada	Poder Calorífico K. cal. Kg ⁻¹	Espino	Poder Calorífico K. cal. Kg ⁻¹	Eucalipto	Poder Calorífico K. cal. Kg ⁻¹
BCT1	4421,2742	ES1	2235,61	EU1	2172,92
BCT2	4206,7006	ES2	2228,88	EU2	2170,48
BCT3	4313,9874	ES3	2244,25	EU3	2178,31

Tabla 5.
Poder calorífico de la Briqueta Compactada y Triturada (BCT), Espino (ES) y Eucalipto (EU)

Fuente:
Moraima, M. & Simbaña, A., 2016

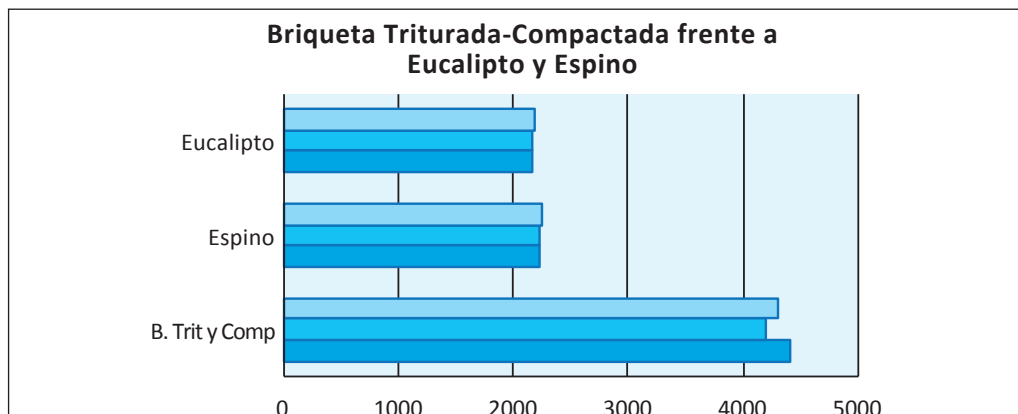


Figura 3.
Poder calorífico de la Briqueta Triturada y Compactada frente a la leña de Espino y Eucalipto

Fuente:
Moraima, M. & Simbaña, A., 2016

Nota. Las barras representan los valores del poder energético de cada material comparado.

La Figura 3, muestra una diferencia muy marcada entre la briqueta triturada y compactada frente a la leña de Espino y Eucalipto. La prueba “t” determina una diferencia estadística altamente significativa, el poder calorífico de la briqueta es casi el doble de la energía desprendida por la leña. Según Mhilo (2014), la briqueta de café tiene una mejor calidad de energía en comparación a materiales del mismo tipo lo que demuestra también esta investigación. A pesar de que la leña de Eucalipto y Espino son buenas generadoras de energía, las briquetas superan ampliamente dejando así abierta la posibilidad de complementar con un escalado industrial.

	B. Triturada y Compac	Espino	Eucalipto
Media	4313,987	2236,246	2173,903
Varianza	11510,457	59,363	16,052
Observaciones	3	3	3
P(T<=t) dos colas		4,76x10 ⁻⁶	4,19x10 ⁻⁶

Tabla 6.
Prueba t para Briqueta Compactada y Triturada frente leña de Espino

Fuente:
Moraima, M. & Simbaña, A., 2016

CONCLUSIONES

El biocombustible sólido (briqueta), elaborado a partir de cáscaras de café es una alternativa de gran poder calórico, fácil de fabricar y de transportar por su forma y tamaño; por lo que puede tener importantes usos industriales y domésticos.

El potencial uso de las cargas energéticas no solo radica en su poder calórico sino también en la disminución significativa del contenido de cenizas lo que determina la calidad del material, aspecto importante en el tratamiento de residuos industriales. Este tipo de combustible favorece su disposición final, al reducir el espacio de almacenamiento.

El calor neto del bio combustible sólido es inversamente proporcional al contenido de humedad de la materia prima.

Se acepta la hipótesis. El poder calorífico de los dos tipos de briqueta; tanto compactada como triturada - compactada es muy superior al del Espino y Eucalipto, la energía que se depende es casi dos veces más que la leña. De esta forma se convierte en una alternativa energética de alto poder.

No existe diferencia estadística entre el tipo de briqueta, es decir, triturar el material no influye en el poder calorífico. Por las condiciones naturales de la materia prima su compactación sin ningún tratamiento puede proporcionar similar cantidad de energía que la tratada o triturada.

Se debería ensayar con otros materiales residuales de procesos agroindustriales de amplia disponibilidad en la zona de estudio como el raquis de palma africana y bagazo de caña de azúcar que podrían brindar un mayor poder calorífico. Además, evaluar la factibilidad económica y financiera de producir biocombustible sólido.

REFERENCIAS

- Aguirre, Z. (2012). *Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrológica para su identificación y caracterización*. Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático. MAE/FAO. Finlandia. Quito. Ecuador
- Báez, S. (2012). *Elaboración de cargas energéticas a partir de residuos lignocelulósicos (Bagazo de caña), como alternativa energética para el ingenio azucarero del norte IANCEM*. Tesis de Grado. Ibarra. Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra.
- Carvajal, P. (2011). *Matriz energética del Ecuador*. Recuperado de <http://www.scpm.gob.ec/wp-content/uploads/2013/05/Presentaci%C3%B3n-Pablo-Carvajal-MICSE-MATRIZ-ENERG%C3%89TICA-Ecuador.pdf>
- Dicovski, L., Pichardo, C., Rodríguez, A., Martínez, B., & Rodríguez, K. (2014). *Validación*

- de briquetas elaboradas con cascarilla de café para el remplazo de leña en la producción de rosquillas de maíz.* El higo. (4), pp 10-19.
- Fonseca, F., Mesa, J., Rocha, J., Fillippetto, D., Luengo, C. & Pippo, W. (2011). *Biomass briquetting and perspectives in Brazil.* Biomass and Bioenergy, (35), pp 236-242.
- Hernández, J. (2006). *Evaluación del consumo de leña en el área rural del cantón Bolívar, provincia del Carchi y elaboración de una propuesta de plantaciones energéticas.* Tesis de Grado. Ibarra. Universidad Técnica del Norte.
- Inga, D & Tehanga, C. (2006). *Consumo de leña en el área rural del cantón Otavalo, provincia de Imbabura y propuesta de plantaciones energéticas.* Tesis de Grado. Ibarra. Universidad Técnica del Norte.
- Mhilu, C. (2014). Analysis of energy characteristics of rice and coffee husks blends. *International Journal of Chemical Engineering*, article Id 196103, pp 1-6.
- OLADE. (2015). *Informe de estadísticas energéticas.* Quito – Ecuador. Grafikos Creative Publicidad Cía Ltda.
- “O brique alternative energética”. (2016). Recuperado el 23 de agosto de 2016 de <http://www.biomaxind.com.br/site/br/brique.html>
- Paredes, J. & Rosero, R. (2007). *Consumo de leña en el área rural del cantón Cotacachi y propuesta de plantaciones energéticas.* Tesis de Grado. Ibarra. Universidad Técnica del Norte.
- Rathinavelu, R. & Graziosi, G. (2005). *Potencial alternative use of coffee wastes and by – products.* Use of coffee wastes and by products. International Coffee Organization, p 2.
- Rodríguez, N. & Zambrano, D. (2010). *Los subproductos del café: Fuente de energía renovable.* Avances técnicos CENICAFE (393), pp 1-8.
- SENPLADES (2009). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2009 – 2013: Construyendo un estado plurinacional e intercultural.* Segunda Edición. Quito – Ecuador. p 114.
- Sierra, F. Mejía, F. & Guerrero, C. (2011). Leña como combustible doméstico en zonas rurales de Usme, Bogotá. *Revista Informador Técnico* 75.p. 30-39.
- Simbaña, A. & Mera, M. (2011). *Concepto, Tipología, Usos de las Fibras Naturales y Residuos Agroindustriales.* En Amigó et al 2011(editores), Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales como fuente Sostenible de Materiales de Construcción. (pp 113-128). Valencia: Editorial UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA.
- Suarez, C. (2008). *Consumo de leña y propuesta de plantaciones energéticas en el área rural del cantón Antonio Ante. Provincia de Imbabura.* Tesis de Grado. Ibarra. Universidad Técnica del Norte.
- Suarez, J., Beaton, P., Luengo, C & Fonseca, F. (2003). Coffee husk briquettes: A new renewable energy source. *Energy Souces*, (25), pp 961-967.
- Valencia, N. (2006). *Análisis del consumo de leña en el área rural de los cantones Montufar y Huaca, provincia del Carchi y propuesta de plantaciones energéticas.* Tesis de Grado. Ibarra. Universidad Técnica del Norte.
- Vera, A. (2014). *Diseño de briquetas ecológicas para la generación de energía calórica y mejoramiento de ecosistemas en el corregimiento de Nabusimake, municipio de Pueblo Bello - César (Tesis de pregrado).* Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Valledupar, Colombia.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a:

La Asociación de Caficultores Rio Intag (AACRI) por la donación de la materia prima para la investigación y a la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, en especial al personal de laboratorio.