

# Características energéticas de briquetas artesanales elaboradas a base de biomasa de gallinaza con cinco diferentes tipos de adherentes

Energy characteristics of artisanal briquettes made from chicken manure biomass with five different types of adherents

## Cómo citar:

Rivera González, W; Alvarado, C; Ochoa Cervantez, D. (2023). Características energéticas de las briquetas artesanales elaboradas a base de biomasa de gallinaza con cinco diferentes tipos de adherentes. *Tatascán*, 31(1), 89-99. <https://doi.org/10.5377/tatascan.v31i1.15941>

<https://doi.org/10.5377/tatascan.v31i1.15941>

Recibido 24/11/2022

Aceptado 07/01/2023

Wilian Josué Rivera González 

 <https://orcid.org/0000-0002-1478-6556>

Investigador independiente

[rwillians295@gmail.com](mailto:rwillians295@gmail.com)

Cesar Augusto Alvarado

 <https://orcid.org/0000-0002-7494-4587>

Universidad Nacional de Ciencias Forestales

[cesalbo48andrea@gmail.com](mailto:cesalbo48andrea@gmail.com)

Dani Oved Ochoa Cervantez

 <https://orcid.org/0000-0002-7707-9461>

Universidad Nacional de Ciencias Forestales

[d.ochoa@unacifor.edu.hn](mailto:d.ochoa@unacifor.edu.hn)

## Resumen

Esta investigación se realizó en el laboratorio de dendroenergía productiva de la UNACIFOR; se elaboraron briquetas artesanales a base de biomasa de gallinaza como material principal y cinco adherentes: aguas mieles, *Melinis minutiflora*, fruto de *Enterolobium cyclocarpum*, fruto de *Cassia grandis* y hojarasca de café, con un mecanismo manual de compactación; luego de la tritura de los materiales se procedió a realizar las combinaciones respectivas de 98% gallinaza y 2% para adherentes, se compactaron y luego fueron secadas directo al sol hasta alcanzar el porcentaje de humedad requerido. Al realizar las pruebas de eficiencia energética en la estufa mejorada las briquetas con mejores resultados fueron: Gallinaza pura, Gallinaza-*Melinis minutiflora* y Gallinaza-fruto de *Enterolobium cyclocarpum*, en cuánto

a tiempo en combustión (min): 70,74 y 70; temperatura máxima del agua (°C): 96, 98 y 97, densidad (kg/m<sup>3</sup>): 401.3, 369.6 y 408.0; temperatura máxima de la llama (°C): 840.3, 828 y 740.3, respectivamente. Estas combinaciones fueron enviadas a los laboratorios de FHIA y ZAMORANO, para su análisis químico y que arrojaron los siguientes resultados: Nitrógeno (N) 3.04%, 3.09% y 3.20%, Azufre (S) 0.56%, 0.61% y 0.62%, Cloro (Cl) 1.45%, 1.23% y 1.26%, y Sílice (Si) 6.94%, 8.27% y 6.32%, respectivamente. En poder calorífico se obtuvieron los siguientes valores: 13.8MJ/kg, 13.9MJ/kg y 14.1MJ/kg, estos resultados fueron comparados con la norma ISO 17225-7 para briquetas de origen no leñoso, la norma fue útil para tener una referencia debido a que en el país no hay normas para este tipo de briquetas artesanales.

**Palabras clave:** Tiempo de combustión, densidad, elementos químicos, poder calorífico y temperatura.

## Abstract

This research was carried out in the productive wood energy laboratory of UNACIFOR. Artisanal briquettes were made based on biomass of chicken manure as the main material and five adherents: honey waters, *Melinis minutiflora*, *Enterolobium cyclocarpum* fruit, *Cassia grandis* fruit and coffee litter, with a manual compaction mechanism. After crushing

the materials, the respective combinations of 98% chicken manure and 2% for adherents, were compacted and then dried directly in the sun until reaching the required moisture percentage. When carrying out the energy efficiency tests in the improved stove, the briquettes with the best results were: pure chicken manure, chicken manure-*Melinis*

minutiflora and chicken manure-fruit of *Enterolobium cyclocarpum*, in terms of burning time (min): 70, 74 and 70; maximum water temperature (°C): 96, 98 and 97, density (kg/m<sup>3</sup>): 401.3, 369.6 and 408.0; maximum flame temperature (°C): 840.3, 828 and 740.3, respectively. These combinations were sent to the FHIA and ZAMORANO laboratories for chemical analysis, which yielded the following results: Nitrogen (N) 3.04%, 3.09% and 3.20%, Sulfur (S) 0.56%, 0.61% and 0.62%, Chlorine (Cl)

1.45%, 1.23% and 1.26%, and Silica (Si) 6.94%, 8.27% and 6.32%, respectively. In calorific value the following values were obtained: 13.8MJ/kg, 13.9MJ/kg and 14.1MJ/kg, these results were compared with the ISO 17225-7 standard for briquettes of non-woody origin, the standard was useful to have a reference because in the country there are no standards for this type of artisanal briquettes.

**Keywords:** Burning time, density, chemical elements, calorific value and temperature.

## Introducción

El alto consumo de biomasa de diferentes fuentes ha venido a facilitar nuestro estilo de vida en distintos aspectos, en consecuencia, ha traído consigo un incremento considerable en el consumo de leña por parte de la población en general, que ha generado como resultado una presión sobre el recurso natural del bosque (Casco Arias, 2013).

En Honduras, además de la electricidad, la energía calórica también tiene características sociales importantes, porque una gran parte de la población a nivel nacional depende de este tipo de energía (Bejarano, Giron, & Alvarado, 2016).

La enorme demanda de energía se da principalmente en países en vías de desarrollo como el nuestro, y la escasez de combustibles líquidos y gaseosos tradicionales, obligando a las personas a buscar nuevas fuentes de energía que sean técnica y económicamente viables y de mínimo impacto sobre el medio ambiente energético (Valderrama, Curo, Quispe, Llantoy, & Gallo, 2013).

Muchas son las alternativas y fuentes de cuales se puede obtener energía, un claro ejemplo son las briquetas, dado que son una alternativa importante para la producción de energía calórica, y que al convertir la biomasa de diferentes fuentes y tipos en briquetas a presión, sus características energéticas aumentan considerablemente, sin embargo, la información acerca de briquetas a base de gallinaza es casi nula, por lo tanto los objetivos de esta investigación, trata la elaboración de briquetas a base de gallinaza como un tipo de combustible sólido.

## Materiales y metodo

### Descripción del área de estudio

La UNACIFOR se encuentra en la Ciudad de Siguatepeque, Comayagua, Honduras, a una altitud de 1050 msnm. Posee una temperatura entre los 18 oC y 23 oC y una precipitación aproximadamente de 1195 mm/ año. Con una ubicación 14°34'49.49"N y 87°50'17.50"O.

### Trabajo de campo

### Recolección, tritura, mezclado, compactación y secado del material

Se recolectó la gallinaza en una hacienda de Siguatepeque al igual que los aglutinantes; se procedió a triturar el material en las maquinas del laboratorio de dendroenergía, luego se hicieron las combinaciones correspondientes de 98% de gallinaza y 2% de adherente, siguiendo lo establecido la norma, que refiere que los aditivos deben ser menor o igual al 5% del peso total de la briqueta y así proceder con la compactación con una briqueteadora artesanal (figura 1), hecha de metal con una prensa mecánica (tipo tijera o elevador) para ejercer presión sobre el material puro y mezclado y así obtener las briquetas mismas que fueron secadas en exposición directa al sol (al aire libre) hasta alcanzar un contenido de humedad  $\leq$  a 15%, como lo establece la norma, después del secado los contenidos de humedad oscilaron entre (6-14%) el cual ya es apto para poder proceder a realizar las diferentes pruebas de eficiencia energética en la estufa mejorada.

**Figura 1**

*Briqueteadora artesanal utilizada para compactación del material mezclado.*



Con las pruebas de eficiencia energética de las briquetas en estufas mejoradas se determinaron las siguientes cinco variables: Tiempo de combustión, porcentaje de cenizas, temperatura máxima de comal, temperatura de máxima de la llama y temperatura máxima del agua.

Para determinar el parámetro de densidad se midió el largo, alto y ancho de 10 briquetas en metros y así conocer el volumen de cada una y tener un promedio de las mismas, así mismo para conocer la masa, se pesaron las mismas 10 briquetas en una balanza de precisión, y luego obtener una masa promedio. Después de conocer estas variables, se aplicó la siguiente ecuación para determinar la densidad del producto:

#### Ecuación 1

Cálculo de Densidad.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

**Donde:**

$\rho$ : Densidad del material (kg/m<sup>3</sup>)

$m$ : masa de la materia (kg)

$V$ : volumen de la materia (m<sup>3</sup>).

El contenido de cenizas es la fracción inorgánica de las briquetas, la cual se determinó después la ignición completa de 1 kg de briquetas, después que pasó el tiempo de quema, se recogió la ceniza de la estufa mejorada de la manera más rudimentaria posible que consistió en esperar que la ceniza se enfriara y de manera directa recogerla de la cámara de combustión en un recipiente y se pesó en una balanza; para luego proceder a hacer una proporción para determinar los porcentajes correspondientes a cada muestra.

### Metodología de oficina y/o laboratorio

Análisis realizados a las tres mejores briquetas, Gallinaza pura y dos combinaciones con adherentes; acorde a los resultados de eficiencia energética y características físicas.

Luego de conocer los resultados de las características físicas y de eficiencia energética (combustión) en la estufa mejorada de las briquetas artesanales de gallinaza pura y combinada elaboradas, estos resultados obtenidos se compararon entre sí, y después de comparados y analizados, en base a lo antes mencionado, se seleccionaron las tres mejores briquetas en dichos aspectos. Mismas que fueron las briquetas elaboradas con: Gallinaza pura, y las combinaciones de Gallinaza-*Melinis minutiflora* y Gallinaza-fruto de *Enterolobium cyclocarpum*, con valores obtenidos en cuanto a densidad (kg/m<sup>3</sup>): 401.3, 369.6 y 408; friabilidad 66% para las tres briquetas, temperatura máxima registrada del agua (°C): 96, 98 y 97, temperatura máxima registrada por la llama (°C): 840.3, 828 y 740.3, estos datos respectivamente.

A estas briquetas artesanales seleccionadas fueron las únicas a las que se les realizó su análisis en cuanto a contenido químicos de Nitrógeno, Azufre, Cloro y Sílice y de poder calorífico (MJ/Kg) así mismo se realizó su análisis estadístico descriptivo para esos parámetros mencionados.

A continuación, se presentan los datos de todas las combinaciones en cuanto a las características físicas, eficiencia energética y contenido químico de las briquetas en tablas y gráficos, pero se hará énfasis en las briquetas artesanales seleccionadas para análisis.

### Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo para las tres mejores briquetas, estas fueron dos combinaciones y las puras en el que se incluye el promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, valor máximo y mínimo para las características físicas: Densidad, friabilidad, contenido de cenizas y contenido de humedad; características energéticas: Poder calorífico, tiempo de combustión y temperatura del agua y su contenido químico: Nitrógeno (N), Cloro (Cl), Sílice (Si) y Azufre (S).

## Resultados

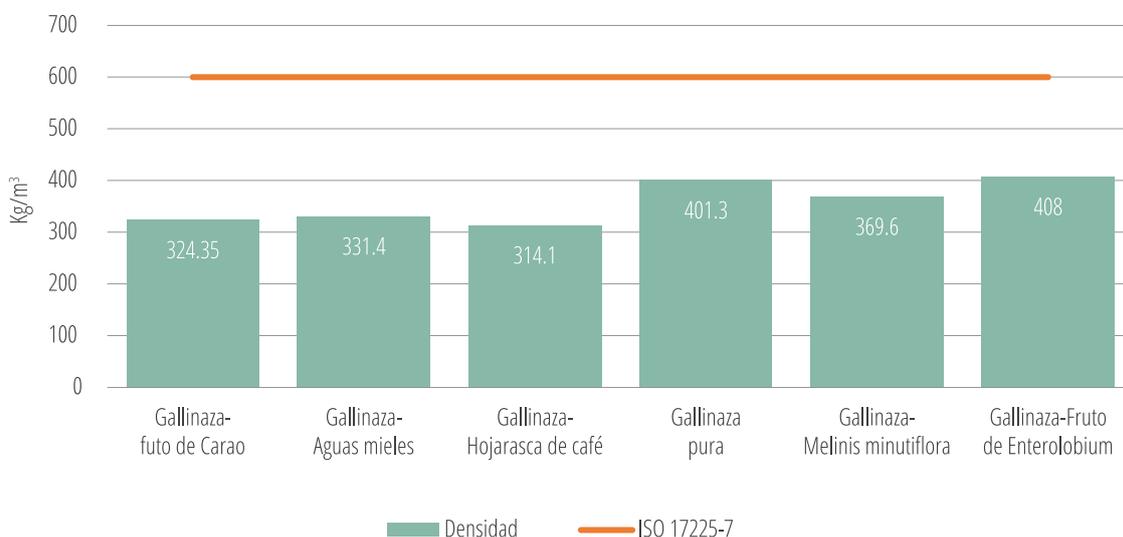
### Densidad

Se describen resultados que arrojaron las dos combinaciones y pura seleccionadas (Figura 2); la mayor densidad es la de Gallinaza-fruto de *Enterolobium cyclocarpum* (408 kg/m<sup>3</sup>), seguido de Gallinaza pura (401.3 kg/m<sup>3</sup>) y para Gallinaza-*Melinis minutiflora* (369.6 kg/m<sup>3</sup>), dichos datos obtenidos no cumplen con los establecido por la norma, la cual indica que la densidad en briquetas

no leñosas debe ser  $\geq$  a 600 kg/m<sup>3</sup>. Estos resultados no están entre el valor mínimo de lo que la norma establece, la densidad baja en estas briquetas se debe únicamente al mecanismo artesanal utilizado para compactación, puesto que las presiones son bajas y no son constantes.

**Figura 2**

Densidades de las briquetas pura y combinadas comparadas con la norma ISO 17225-7.

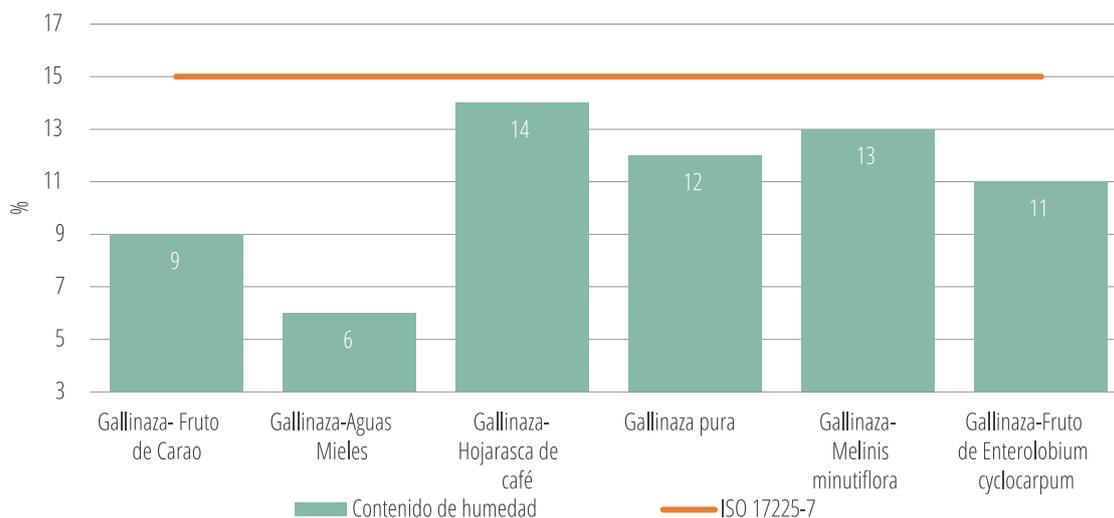


## Contenido de humedad

Se describen los resultados que arrojaron las dos combinaciones y pura seleccionadas (Figura 3), mismas indicaron porcentajes de humedad de 12 % en Gallinaza pura, 11 % en Gallinaza-Fruto de *Enterolobium cyclocarpum* y 13 % para Gallinaza-*Melinis minutiflora* dichos porcentajes se ven reflejados en contenido de cenizas después de la combustión de las briquetas. Y de acuerdo a la norma este parámetro de contenido de humedad está dentro de los rangos aceptables por la norma; establece que deben ser  $\leq$  a 15%.

**Figura 3**

Contenido de humedad de las briquetas elaboradas comparados con la norma ISO 17225-7.

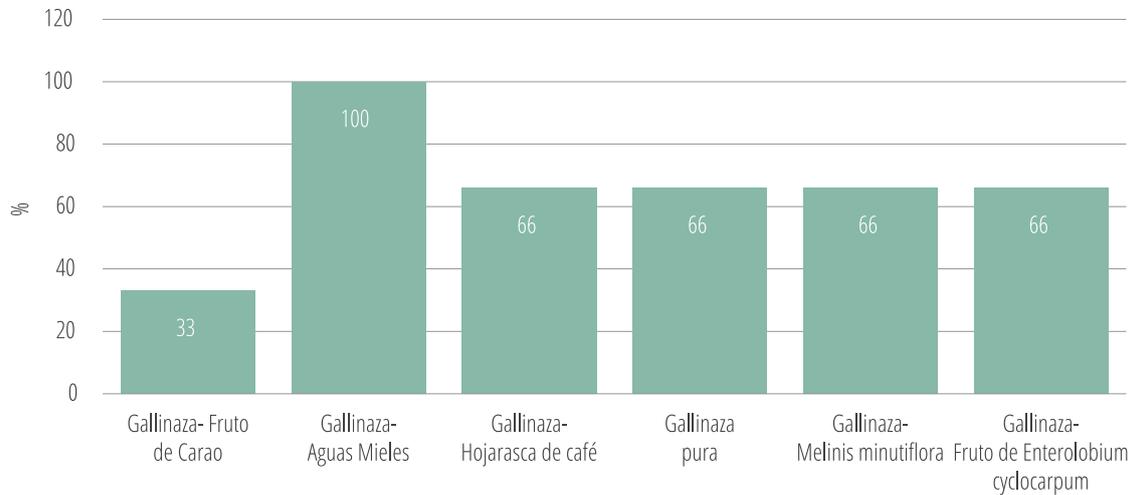


## Friabilidad

En la figura 4 se muestran los resultados de Gallinaza pura, *Gallinaza-Melinis minutiflora* (Candiguero o pasto de engorde) y Gallinaza-fruto de *Enterolobium cyclocarpum* que indicaron una friabilidad del 66 % para las tres briquetas, estos resultados son un poco desfavorables debido a que no son tan resistentes al momento de poder ser embaladas y transportadas. Por otra parte, la combinación de *Gallinaza-aguas mieles* fue la que presentó la mejor resistencia en las pruebas de friabilidad con un 100 %.

**Figura 4**

Resistencia de briquetas elaboradas en pruebas de friabilidad.



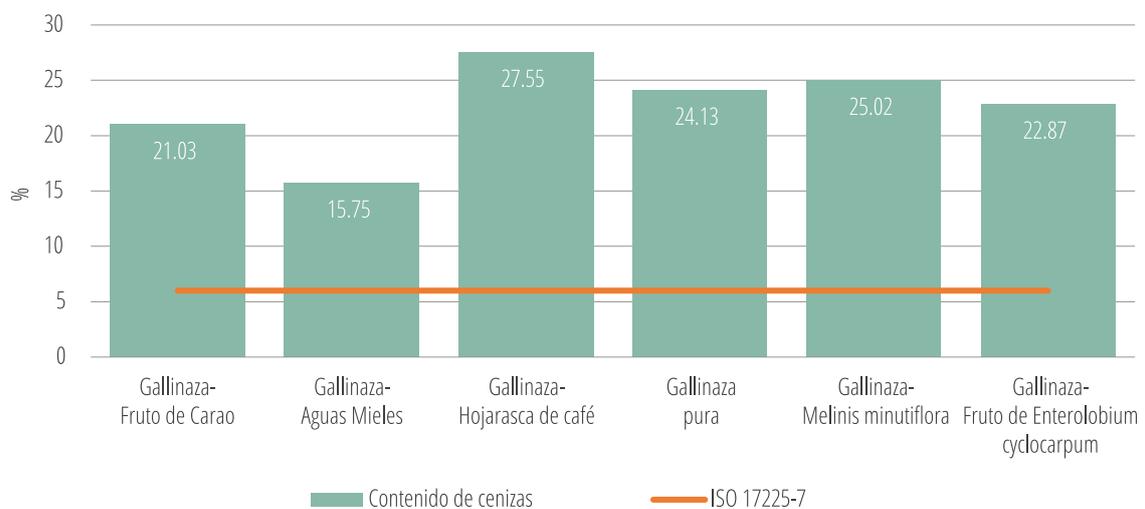
### Contenido de cenizas

Se determinó la combustión de un 1 kg de briquetas de cada una de las combinaciones, luego que pasó el tiempo de quema, se recogió la ceniza y se pesó en una balanza de precisión; con los pesos de las cenizas se procedió a hacer una proporción para determinar los porcentajes correspondientes a cada muestra.

Se describen valores en cuanto a contenido de cenizas de las briquetas elaboradas (Figura 5), Gallinaza-*Melinis minutiflora* (Candi-guero) 25.02 %, Gallinaza pura 24.13 %, y Gallinaza-fruto de *Enterolobium cyclocarpum* (Guanacaste) 22.87 %. Dichos datos obtenidos no cumplen con los establecido por la norma, la cual indica que el contenido de cenizas en briquetas de origen no leñoso debe ser  $\leq$  a 6 % por lo tanto, estos resultados no están entre el valor máximo de lo que la norma establece.

**Figura 5**

Contenido de cenizas de briquetas elaboradas comparado con la norma ISO 17225-7.



## Eficiencia energética en estufas mejoradas

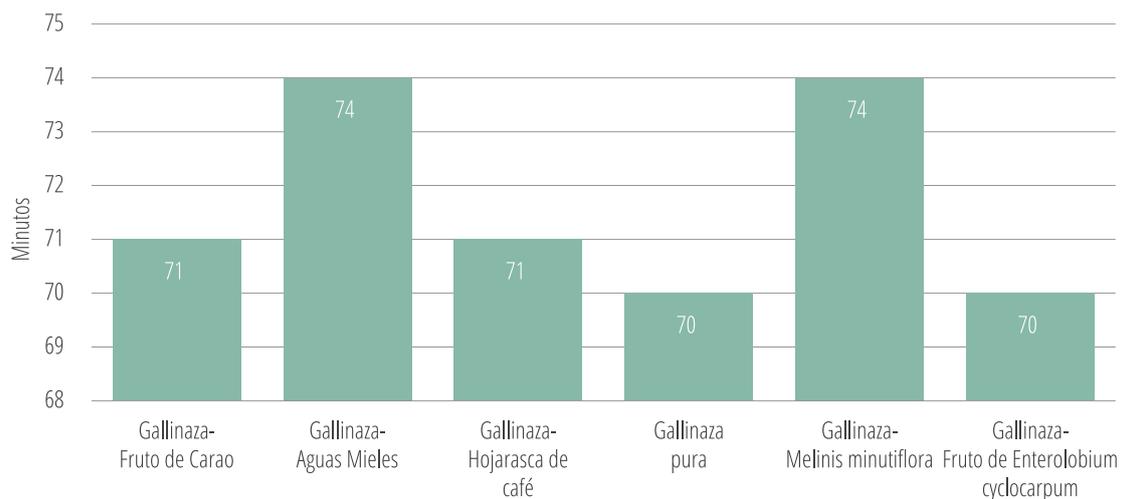
Se realizaron pruebas de rendimiento de las briquetas en la estufa mejorada, con esta prueba se determinaron las siguientes variables:

### Tiempo en llama o combustión

Se especifican los resultados de las dos combinaciones y pura analizadas (Figura 6), en cuanto al tiempo de llama, Gallinaza pura 70 min, Gallinaza-*Melinis minutiflora* (Candiguero) 74 min y Gallinaza-Fruto de *Enterolobium cyclocarpum* con tiempo de 70 min para esta prueba.

**Figura 6**

Tiempo de combustión de briquetas elaboradas.

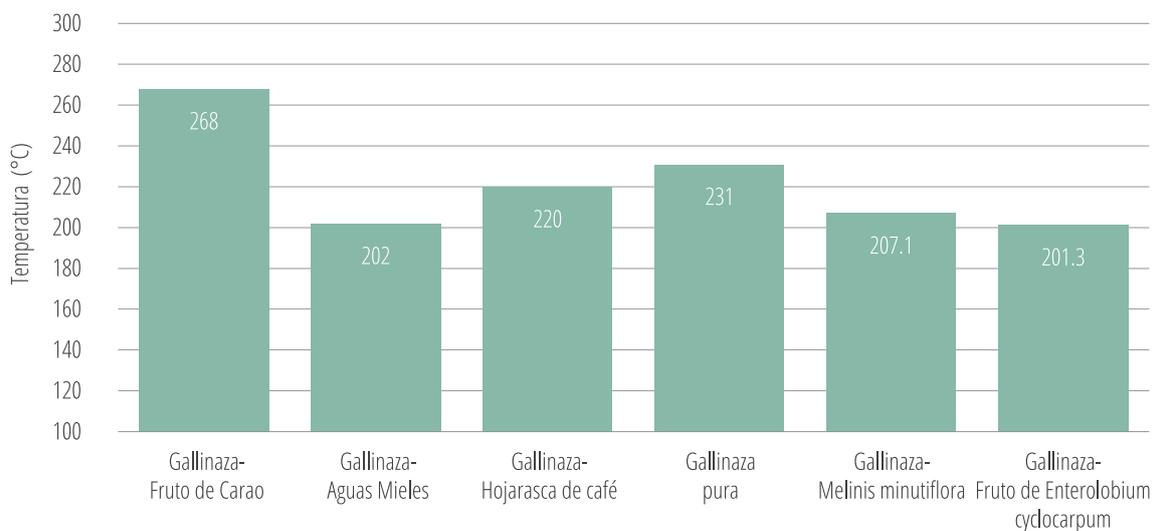


### Temperatura máxima de comal

Se especifican valores de las dos combinaciones y pura analizadas (Figura 7) en cuanto a temperatura del comal máximo registrado. Gallinaza pura 231°C, Gallinaza-*Melinis minutiflora* (Candiguero o pasto de engorde) 207.1°C, y Gallinaza-fruto de *Enterolobium cyclocarpum* con 201.3°C.

**Figura 7**

Temperaturas máximas del comal.

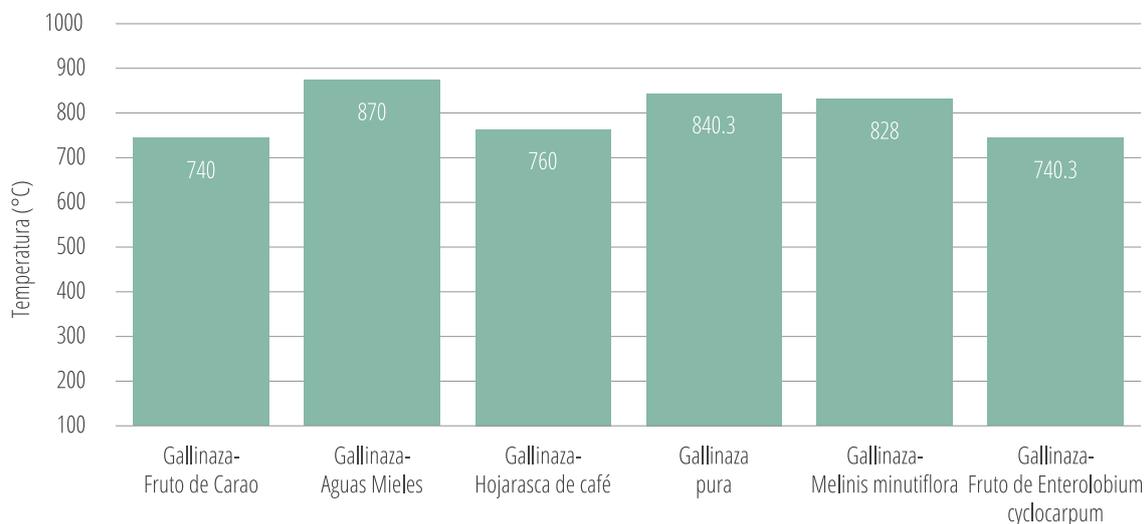


### Temperatura de máxima de la llama

La figura 8 indica valores para temperaturas de llama máximas registradas de las dos combinaciones y pura analizadas. Gallinaza pura 840.3°C, la cual se mantuvo constante durante 20 minutos, la combinación con *Melinis minutiflora* (Candiguero o pasto de engorde) 828°C, la cual se mantuvo constante durante 21 minutos aproximadamente y Fruto de *Enterolobium cyclocarpum* 740.3°C, mantuvo constante dicha temperatura por 23 minutos para esta prueba.

**Figura 8**

Temperaturas Máximas de la llama.

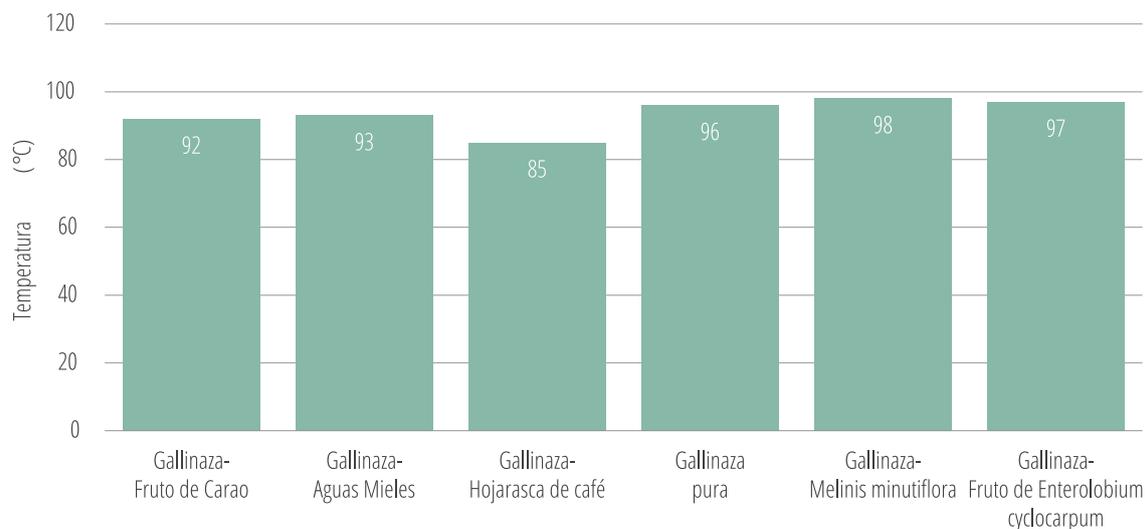


### Temperatura máxima del agua

Al final de todas las pruebas de combustión las dos combinaciones y pura analizadas (Figura 9) registraron las mayores temperaturas. Gallinaza pura con 96°C, la cual fue registrada a los 40 minutos de quema y se mantuvo constante por 18 minutos, Gallinaza-*Melinis minutiflora* (Candiguero o pasto de engorde) con 98°C, registrando esta temperatura a los 42 minutos de quema y que se mantuvo constante por 20 minutos y Gallinaza-Fruto de *Enterolobium cyclocarpum* (Guanacaste) 97°C misma que se alcanzó a los 47 minutos de quema y constante por 15 minutos en esta prueba.

**Figura 9**

Temperaturas máximas del agua.

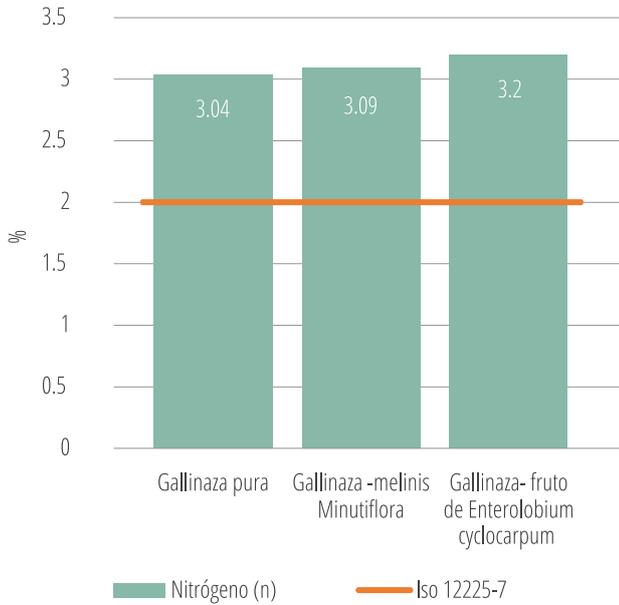


## Análisis químico de las briquetas

Se detallan resultados que arrojaron las dos combinaciones y pura seleccionadas (Figura 10) la combinación que más contenido de Nitrógeno presentó es la de Gallinaza-fruto de *Enterolobium cyclocarpum* (3.2%), seguido de Gallinaza-Melinis minutiflora (3.09%) y Gallinaza pura (3.04%), dichos datos obtenidos no cumplen con lo establecido por la norma, misma establece que el Nitrógeno en briquetas no leñosas debe ser  $\leq$  a 2%, por lo tanto, estos resultados no están entre el valor máximo.

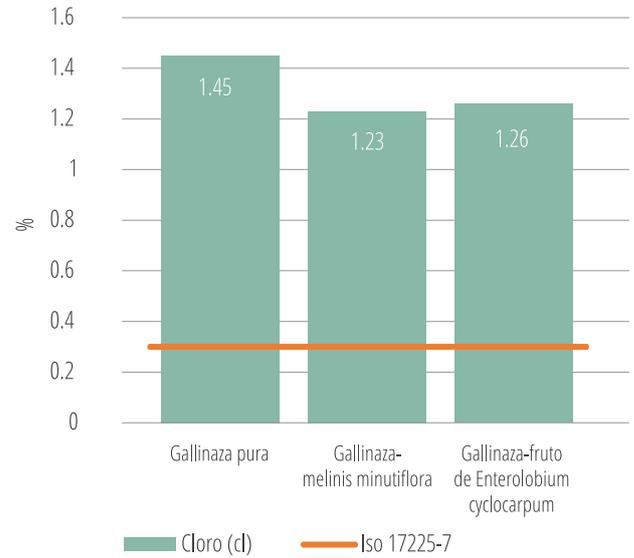
**Figura 10**

Contenido de Nitrógeno (N) de las briquetas en comparación con la norma ISO 17225-7.



**Figura 11**

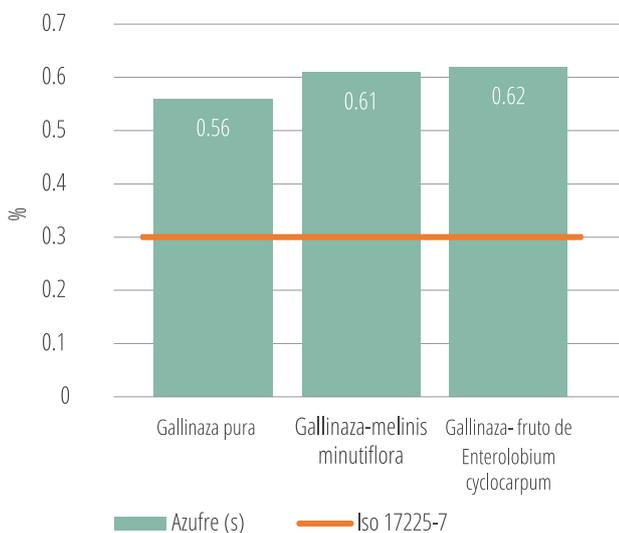
Contenido de Cloro (Cl) de las briquetas elaboradas en comparación con la norma ISO 17225-7.



Se detallan resultados que arrojaron las dos combinaciones y pura seleccionadas (Figura 12), la combinación que más contenido de azufre presentó es la de Gallinaza-Fruto de *Enterolobium cyclocarpum* con (0.61%), seguido de Gallinaza-Melinis minutiflora (0.61%) y Gallinaza pura con (0.56 %), dichos datos obtenidos no cumplen con lo establecido por la norma, misma establece que el azufre en briquetas no leñosas debe ser  $\leq$  a 0.3%, por lo tanto estos resultados no están entre el máximo de lo que la norma establece.

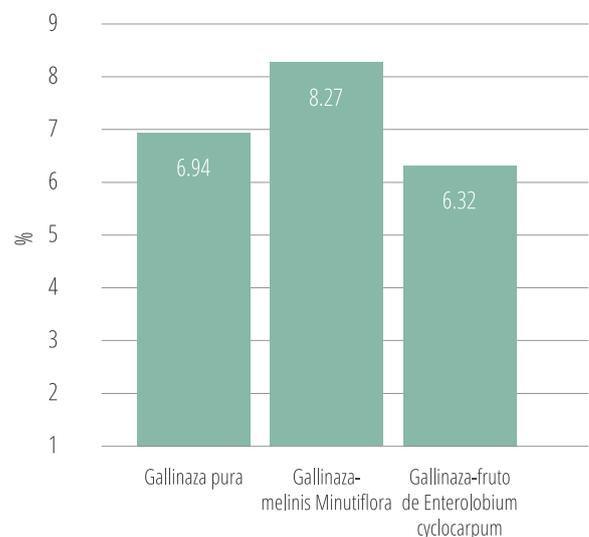
**Figura 12**

Contenido de Azufre (S) de las briquetas elaboradas en comparación con la norma ISO 17225-7.



**Figura 13**

Contenido de Sílice (Si) de las briquetas elaboradas.



Se detallan resultados que arrojaron las dos combinaciones y pura seleccionadas (Figura 13), la combinación que más contenido de sílice presentó es la de Gallinaza-Melinis minutiflora con 8.27%, seguido de Gallinaza pura 6.94% y Gallinaza- fruto de *Enterolobium cyclocarpum* con 6.32%, los resultados de contenido de Sílice no son estudiados por la norma, sin embargo, es un elemento químico que se debe conocer por su corrosividad en calderas.

### Poder Calorífico

Se detallan resultados que arrojaron las dos combinaciones y pura seleccionadas (Figura 14); la que mayor poder calorífico contiene es Gallinaza-fruto de *Enterolobium cyclocarpum* con 14.1 MJ/kg o 3367.73 kcal/kg, seguido de Gallinaza- *Melinis minutiflora* 13.9 MJ/kg o 3319.96 kcal/kg y por último Gallinaza pura con 13.8 MJ/kg o 3296.07 kcal/kg; según la norma estos resultados no están dentro del valor mínimo aceptable de  $\geq$  a 14.5 MJ/kg.

## Análisis estadístico

### Características físicas

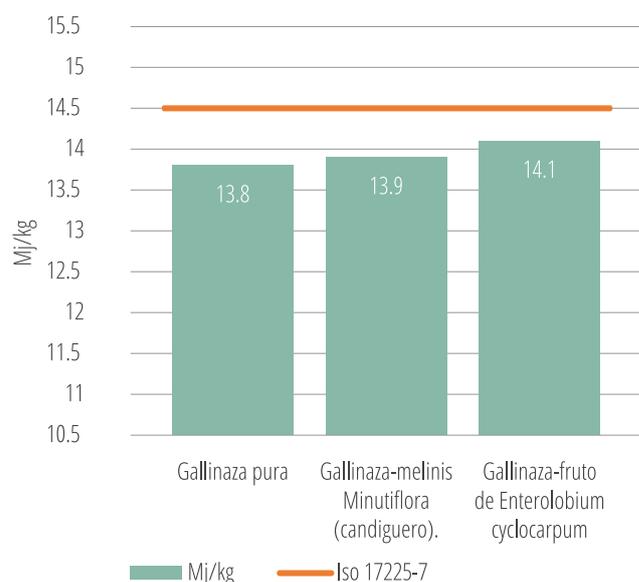
En la tabla 1 se describen los resultados de las características de las briquetas elaboradas, la Gallinaza-Fruto de *Enterolobium cyclocarpum* indicó los mayores valores en la variable contenido de cenizas y densidad con 22.9 % y 408 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, no obstante, dichos datos no están dentro de lo establecido por la norma de  $\leq$  al 10% para cenizas y 600 kg/m<sup>3</sup> para densidad. En la variable contenido de humedad se observa que los tres valores están dentro de lo establecido por la norma; la cual indica que deben ser  $\leq$  al 15%.

### Características energéticas de combustión

La tabla 2 indica que no hay diferencias mínimas en las características energéticas de interés, en poder calorífico la mejor combinación fue Gallinaza-Fruto de *Enterolobium* con 14.1 MJ/kg, no obstante, este valor no está dentro del valor aceptado por la norma, que indica el valor de  $\geq$  14.5 MJ/kg. Con respecto a tiempo de combustión y temperatura máxima del agua la mejor combinación fue Gallinaza-*Melinis minutiflora* con 74 minutos y 98 °C respectivamente.

**Figura 14**

Poder calorífico de las briquetas elaboradas comparado con la norma ISO 17225-7.



**Tabla 1**

Análisis estadístico para características energéticas de combustión.

| Combinaciones                                      | Poder calorífico (MJ/kg) | Tiempo de combustión (min) | Temperatura del agua (°C) |
|--|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Gallinaza pura                                     | 13.8                     | 70                         | 96                        |
| Gallinaza- <i>Melinis minutiflora</i>              | 13.9                     | 74                         | 98                        |
| Gallinaza-Fruto de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | 14.1                     | 70                         | 97                        |
| <b>Estadística descriptiva</b>                     |                          |                            |                           |
| Promedio   | 13.93                    | 71.33                      | 97                        |
| Desviación estándar                                | 0.153                    | 2.31                       | 1                         |
| Coefficiente de variación                          | 1.09 %                   | 3.29 %                     | 1.03 %                    |
| Valor máximo                                       | 14.1                     | 74                         | 98                        |
| Valor mínimo                                       | 13.8                     | 70                         | 96                        |

**Tabla 2**

Análisis estadístico para características químicas.

| Combinaciones                                      | Nitrógeno (N) % | Cloro (Cl) % | Sílice (Si) % | Azufre (S) % |
|--|-----------------|--------------|---------------|--------------|
| Gallinaza pura                                     | 3.04            | 1.45         | 6.94          | 0.56         |
| Gallinaza- <i>Melinis minutiflora</i>              | 3.09            | 1.23         | 8.27          | 0.61         |
| Gallinaza-Fruto de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | 3.20            | 1.26         | 6.32          | 0.62         |
| <b>Estadística descriptiva</b>                     |                 |              |               |              |
| Promedio   | 3.11            | 1.31         | 7.18          | 0.6          |
| Desviación estándar                                | 0.08            | 0.12         | 1             | 0.03         |
| Coficiente de variación                            | 2.6 %           | 9.1 %        | 13.9 %        | 5 %          |
| Valor máximo                                       | 3.2             | 1.45         | 8.27          | 0.62         |
| Valor mínimo                                       | 3.04            | 1.23         | 6.32          | 0.56         |

En cuanto a las características físicas, energéticas y contenido químico de las combinaciones de briquetas artesanales y pura seleccionadas, el análisis de la estadística descriptiva muestra que la variación en los datos es muy baja. Los coeficientes de variación de la muestras fueron menores al 10 %, por lo que se puede deducir que las diferencias en cuanto a su variabilidad son mínimas.

## Discusión

Según la investigación realizada por Tercero (2015), se analizó el contenido químico de las briquetas de origen leñoso de *Pinus oocarpa* con diez adherentes, en la cual estudiaron dos adherentes en común, aguas mieles y fruto de *Enterolobium cyclocarpum* y un elemento químico como lo es azufre (S).

Para las briquetas elaboradas con *Pinus oocarpa*- Fruto de *Enterolobium cyclocarpum* que él realizó, obtuvo un valor para azufre de 0.05%; con respecto a esta investigación de briquetas artesanales de Gallinaza pura y combinada con este adherente en común, los datos obtenidos, en cuanto a resultados de azufre para Gallinaza- fruto de *Enterolobium cyclocarpum* se indicó un valor de 0.62%, dichos resultados en ambas briquetas varían, en el cual la briqueta de Gallinaza con este adherente presenta mayor contenido de azufre, lo que indica que este mayor contenido en las briquetas, tendrían un efecto más rápido de corrosión si se llegara a utilizar en calderas y por tanto se deberán hacer mantenimientos más frecuentes para evitar posibles daños en las mismas.

También Tercero (2015), analizó el comportamiento en estufas mejoradas de las briquetas elaboradas con los mismos adherentes en común: combinación con de *Pinus oocarpa* -Fruto de *Enterolobium cyclocarpum* en la cual sus muestras dieron los resultados siguientes para las pruebas sus resultados en cuanto a temperatura máxima de comal de 173.83°C, temperatura máxima de llama: 635.63°C y tiempo de combustión de 55 min; respecto a la combinación de Gallinaza- Fruto de *Enterolobium cyclocarpum*, en esta investigación los resultados para esas mismas pruebas fueron, temperatura máxima de comal 201.3 °C, temperatura máxima de llama 740. 3°C y para tiempo de combustión se registraron 70 minutos.

Para la combinación de *Pinus oocarpa*-aguas mieles Tercero (2015) indico valores para temperatura máxima de comal de 166.23°C, temperatura máxima de llama 630.23°C y para tiempo de combustión 65 min; respecto a la combinación de Gallinaza-aguas mieles, en esta investigación los resultados para esas mismas pruebas fueron, temperatura máxima de comal 202.0°C, temperatura máxima de llama 870.0°C y para tiempo de combustión se registraron 74 min. Lo cual indica que las briquetas de Gallinaza con estos dos adherentes en común tienen mejores resultados en las pruebas de combustión y que podrían en teoría ser una mejor opción al momento de ser utilizadas en las cocinas del país como un sustituto al consumo masivo de leña, teniendo en cuenta que las briquetas de Tercero (2015), tienen menores contenidos en azufre y ese podría ser un punto a favor para sus briquetas de *Pinus oocarpa*, en temas de corrosión.

## Conclusión

Se determinó el análisis inmediato de las briquetas artesanales puras y combinadas con sus adherentes, para la variable contenido de humedad y contenido de cenizas las briquetas con mejores resultados fueron las combinaciones con Gallinaza- aguas mieles y Gallinaza- Fruto de *Cassia grandis* (Carao), para densidad las mejores combinaciones fueron: Fruto de *Enterolobium cyclocarpum* y *Melinis minutiflora* y las realizadas con Gallinaza y para friabilidad la peor combinación fue *Cassia grandis* (Carao) y la mejor la combinación con aguas mieles.

Se determinó el análisis químico de Nitrógeno (N), Cloro (Cl), Sílice (Si) y Azufre (S), y de poder calorífico a las tres briquetas de Gallinaza pura y combinadas con adherentes seleccionadas para análisis: *Melinis minutiflora*, Fruto de *Enterolobium cyclocarpum* y Gallinaza pura; las cuales indicaron valores por encima de lo establecido por la norma para esos elementos, este hecho es relevante porque en cantidades altas pueden acelerar en proceso de corrosión.

Se evaluó el comportamiento de las briquetas de Gallinaza pura y combinada con adherentes en estufas mejoradas:

La combinación con Aguas mieles fue la que mostró más resistencia en la prueba de friabilidad y una de las mejores en temperatura de llama y tiempo de combustión, pero no así en temperatura de comal, reflejado en la temperatura del agua. Estos datos no son congruentes, posiblemente debido a variables como el viento o que la olla no estaba en el punto más caliente del comal u otro factor desconocido.

La combinación con Hojarasca de café fue la que más contenido de cenizas indicó y la segunda mejor para temperatura de llama y comal, por otro lado, estos datos no se reflejaron en la prueba del agua, seguramente debido a las condiciones mencionadas en el párrafo anterior.

Las briquetas a las que se analizó su poder calorífico fueron: Gallinaza-*Melinis minutiflora*, Gallinaza-Fruto de *Enterolobium cyclocarpum* y Gallinaza pura, indicaron poderes caloríficos bajos respecto al que establece la norma. A su vez presentaron los mejores y balanceados resultados en estas pruebas de combustión, en cuanto a las mayores temperaturas de agua y de llama registradas y entre las mejores en los tiempos de combustión.

La mejor combinación de briqueleta artesanal estudiada fue Gallinaza-Fruto de *Enterolobium cyclocarpum*, debido a que entregó los mejores resultados en cuanto a contenido de cenizas, contenido de humedad, densidad, poder calorífico y contenido de sílice.

Todos los resultados encontrados en cuanto a características físicas y eficiencia energética de las briquetas con Gallinaza pura y combinada de esta investigación, para briquetas hechas de manera artesanal, son muy bajos en varios aspectos, una de las principales es la densidad, debido al método artesanal de compactación utilizado, al tratarse de una máquina manual, las presiones en cada briquetas varían provocando densidades bajas. Una posible solución para mejorar este parámetro sería colocar en la briqueadora un prensa hidráulica o mecánica más grande en la estructura, que ejerza más presión sobre la biomasa a compactar y obtener de esta forma resultados más homogéneos. Las briquetas con Gallinaza pura y combinada elaboradas en esta investigación pueden ser una alternativa viable al alto consumo de leña que en la actualidad demanda el país.

## Referencias bibliográficas

- Bejarano, L., Giron, F., & Alvarado, C. (2016). Produccion de Material Comprimido de Residuos Solidos Organicos Para Generacion de Energia Calorica. *TATASCÁN Revista Técnica Científica*. 26 (1), 101-119.
- Casco Arias, E. A. (2013). *Generacion de Energia Electrica a Micro Escala Utilizando el Poder Calorico de la Biomasa de Pinnus oocarpa con Fogones Mejorados*. UNACIFOR.
- Tercero, R. M. (2015). *Determinación de las propiedades energéticas de briquetas a base de biomasa de Pinus oocarpa en combinación con diez tipos de adherentes*. UNACIFOR.
- Valderrama, A., Curo, H., Quispe, C., Llantoy, V., & Gallo, J. (2013). *Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calorífica en cocinas no convencionales*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos CEDIT.