

Artículo original

Propiedades físicas de briquetas elaboradas con residuos del olivo

Physical properties of briquettes made from olive waste

MADDY BERTHA CUNURUNA CRUZ¹

 <https://orcid.org/0009-0009-9871-5066>

Recibido: 21/07/2023

Aceptado: 12/08/2023

Publicado: 18/10/2023

¹Agro ingenio Sur EIRL, Tacna, Perú

E-mail: 1agroingeniosur.peru@gmail.com



Resumen

Con el objetivo de aprovechar los residuos generados por la industria olivarera, se llevaron a cabo evaluaciones de briquetas elaboradas a partir de residuos de poda del olivo y orujo de aceituna. Después de triturar la biomasa, se mezclaron los componentes y se añadió el aglutinante. A continuación, se moldearon utilizando una máquina especializada, obteniendo briquetas con una altura de 5 cm y un diámetro de 10 cm. Se formularon siete tratamientos, cada uno con dos niveles: orujo de aceituna (0,1-0,23), poda del olivo (0,6-0,82) y aglutinante (0,08-0,15). Se evaluaron cinco variables de respuesta: friabilidad, poder calorífico, tiempo de ebullición, velocidad de combustión y consumo específico del combustible. Los resultados revelaron que solo las variables de índice de friabilidad y poder calorífico mostraron una significancia estadística ($p < 0,005$). El tratamiento que maximizó el poder calorífico estuvo compuesto por un 10 % de orujo de aceituna, un 82 % de poda del olivo y un 8 % de aglutinante, logrando un valor de 5 709,46 Kcal/kg. Por lo tanto, esta biomasa de residuos del olivo presenta cualidades adecuadas debido a su alto poder calorífico.

Palabras clave: biomasa; briquetas; poder calorífico.

Abstract

In order to make use of the waste generated by the olive industry, evaluations of briquettes made from olive tree pruning residues and olive pomace were carried out. After grinding the biomass, the components were mixed and the binder was added. Subsequently, they were molded using a dedicated machine, resulting in briquettes with a height of 5 cm and a diameter of 10 cm. Seven treatments were formulated, each with two levels: olive pomace (0,1-0,23), olive tree pruning (0,6-0,82), and binder (0,08-0,15). Five response variables were evaluated: friability, calorific value, boiling time, combustion speed, and specific fuel consumption. The results revealed that only the variables of friability and calorific value showed statistical significance ($p < 0,005$). The treatment that maximized the calorific value consisted of 10 % olive pomace, 82 % olive tree pruning, and 8 % binder, achieving a value of 5 709,46 Kcal/kg. Therefore, this olive waste biomass exhibits suitable qualities due to its high calorific value.

Keywords: biomass; briquettes; calorific value.

1. Introducción

A nivel global, el sector agrícola desempeña un papel de vital importancia tanto en el ámbito alimentario como en el socioeconómico (Tsarouhas, et al., 2015). En este contexto, la región de Tacna se destaca como el principal productor de aceitunas a nivel nacional, superando las 61,000 toneladas. Esta cifra significativa sitúa a Perú como líder en la producción de aceitunas en todo el continente americano, según el informe del INDECOPI (2015). Además, de acuerdo con el Consejo Oleícola Internacional, la producción de aceite de oliva a nivel nacional alcanzó aproximadamente las 18,000 toneladas. Estos datos consolidan a Perú como el principal productor de aceite de oliva en el continente americano, según informó RPP (2014).

No obstante, surge una creciente preocupación en el sector debido a la generación de la biomasa residual, producto del tratamiento de la aceituna (Saiz, 2014). En la cadena de producción, se identifican dos tipos de residuos que representan un desafío ambiental. En primer lugar, está la poda del olivo, que tradicionalmente se quema o se abandona en los campos, lo que implica riesgos de contaminación y propagación de plagas (Aquilas et al., 2016). Por otro lado, encontramos el alpechín y el orujo, que son subproductos resultantes del proceso de extracción del aceite de oliva, lo que genera diversos efectos en el medio ambiente, tales como la disminución de recursos naturales, la degradación de los suelos, la emisión de sustancias al aire (Tsarouhas, et al., 2015; Salomone y Loppolo, 2012). Incluso, en ocasiones estos residuos se incineran en el suelo o se arrojan a los campos y ríos, generando una contaminación ambiental significativa y amenazando la salud pública (TecDepur, 2013).

En este contexto, el presente estudio busca ofrecer una alternativa para abordar estos problemas mediante el uso de la biomasa del olivar para producir briquetas, las cuales pueden ser utilizadas como una fuente de energía alternativa (Guzmán et al., 2016), fundamentalmente por su posibilidad de renovación, menor efecto contaminante (BioGuía, 2011). Es más, presentan ventajas importantes como costes de fabricación menores a los otros combustibles, alto poder calorífico y baja emisión de contaminantes que son consideradas neutras (Moreno et al., 2015). De esta manera, se pretende brindar una solución sostenible y eficiente a los desafíos mencionados anteriormente.

2. Metodología

En relación a las muestras empleadas en la investigación, tanto la poda de olivo como los desechos de orujo de aceituna fueron obtenidos de campos agrícolas y empresas de producción de aceite localizadas en el distrito de La Yarada-Los Palos, Tacna.

El proceso de elaboración y obtención de briquetas se basó en la metodología descrita por Onuegbu et al. (2011). Con el propósito de obtener la biomasa, se empleó un molino de martillos para granos de la marca HYVANOX, modelo ZEL-4060G, con número de serie 84762, equipado con un motor de 4.0 HP para triturar los residuos de poda y orujo. Luego, se procedió a preparar el aglutinante según cada tratamiento, y se llevó a cabo una exhaustiva mezcla con agua. Esta solución se sometió a calentamiento hasta alcanzar el punto de ebullición, mientras se realizaron movimientos continuos para evitar la formación de grumos.

A continuación, se llevó a cabo la combinación del aglutinante con la biomasa hasta lograr una consistencia pastosa, mediante una agitación continua durante dos minutos.

Seguidamente, se procedió a la etapa de conformado utilizando un equipo para briqueteado, que consta de: una estructura base de 60 cm de altura (1), una gata hidráulica (2) y moldes de cloruro de polivinilo (PVC) con una altura de 15 cm y un diámetro de 35 cm (3). Para cada variante, se moldearon siete briquetas con tres repeticiones, obteniendo así un total de veintidós bloques, con el propósito adicional de producir 20 briquetas adicionales por cada tratamiento, destinadas a ser analizadas para determinar el índice de friabilidad. En consecuencia, se obtuvo una cantidad total de 140 briquetas.

2.1. Parámetros físicos

Las briquetas fueron secadas al ser expuestas directamente a la radiación solar. Posteriormente, se almacenaron en bolsas de papel kraft. Para llevar a cabo este proceso, se utilizaron una balanza analítica de la marca Adam Equipment con una capacidad de 120 g y una precisión de 0,0001 g, una estufa eléctrica de la marca RAYPA con un termostato regulable, un desecador de vacío de la marca Duran con el número de serie 247814603 y con sal higroscópica de silicagel, una mufla eléctrica de la marca Felisa con una capacidad máxima de 1700°C, y cápsulas de porcelana Haldenwanger de tamaño N°6.

Para la determinación del poder calorífico, se evaluó del contenido de humedad, materias volátiles, cenizas y carbono fijo de los tratamientos mediante el método de análisis inmediato. Los valores se expresaron en base seca y se utilizó la fórmula de Gouthal, según lo descrito por Carbajal en 2012. La se empleó ecuación (1) como referencia para realizar este cálculo.

$$\text{Poder Calorífico} = 82 Cf + AV \text{ Kcal/kg} \quad (1)$$

Siendo Cf el porcentaje de carbono fijo, V el porcentaje de materia volátil, $A = V / (V + C)$ considerado como coeficiente.

La determinación de humedad se llevó a cabo siguiendo los parámetros establecidos por la Norma ASTM D-1762 (2001), tomando una muestra de 10 g y se procedió a su secado en estufa a una temperatura constante de 103 °C hasta alcanzar un peso estable. Posteriormente, se registró el peso final de la muestra. El porcentaje de humedad se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = (Pi - Pf) / Pi \times 100 \quad (2)$$

Siendo Pi el peso inicial (g) y Pf el peso seco en estufa (g).

La determinación de cenizas se realizó siguiendo los criterios establecidos en la norma ASTM D-1762S (2001). Se pesa una muestra de 2 g de material carbonizado en una cápsula de porcelana. Que se somete a 450 °C durante 2 horas, asegurando la completa incineración. A continuación, se colocó en una desecadora durante 30 minutos hasta enfriamiento. El contenido de ceniza se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = (Pf) / Pi \times 100 \quad (3)$$

Donde Pf el peso de las cenizas blancas (g) y Pi peso acondicionado de la muestra (g).

La determinación de material volátil se calculó siguiendo la norma ASTM D-1762. Se tomó una muestra de 2 g de muestra, que se colocó en un crisol y se introdujo en la entrada de una mufla previamente calentada a una temperatura de 950 °C, manteniéndolo durante un periodo de 7 minutos. Luego, se enfrió en una desecadora durante 25 minutos, y se registraron los pesos obtenidos en cada etapa. Finalmente, el cálculo se realiza con la fórmula:

$$\% \text{ Material volátil} = (P_i - P_f) / P_f \times (100 - H) \quad (4)$$

Siendo P_i el peso inicial de la muestra de carbón, P_f el peso final de la muestra y H el contenido de humedad (%).

La determinación de carbono fijo se realizó según la norma ASTM D-3172, utilizando la fórmula:

$$\% \text{ Carbono Fijo} = 100 - (H + C + MV) \quad (5)$$

Siendo H el contenido de humedad (%), MV el contenido de materia volátil (%) y C el contenido de cenizas (%).

El índice de friabilidad se calculó mediante el método de impacto contra el suelo descrito en la Norma Técnica Colombiana NTC 2060 para Briquetas destinadas a combustibles domésticos (ICONTEC, 2003). Este método consiste en lanzar 20 briquetas desde una altura de 1 metro sobre una plataforma de cerámica. El cálculo es mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Índice de Friabilidad} = NF / NI \quad (6)$$

Donde NF es el número de briquetas al final del ensayo (enteras y fraccionadas) y NI Número de briquetas al inicio del ensayo.

2.2. Eficiencia de la combustión

Se evaluó utilizando el método modificado The Water Boiling Test (WBT) versión 4.2.2, tal como se describe Gamarra (2010). Se utilizó únicamente la primera fase de la prueba, que comienza con la estufa en frío y finaliza cuando el agua alcanza el punto de ebullición. Posteriormente, se realizaron pruebas de combustión utilizando 2 briquetas del mismo tipo, con el objetivo de hervir 1 litro de agua en un recipiente. Las briquetas se colocaron a una distancia de 5 cm de la base, apoyadas una sobre la otra, y se utilizó un iniciador que cumplía con las condiciones generales establecidas en la NTC 2060, seleccionando un mechero pequeño a base de mazorca de maíz (ICONTEC, 2003). A partir de esta prueba se determinaron las siguientes variables:

El tiempo de ebullición mediante la ecuación:

$$TE = Tf - Ti \quad (7)$$

Siendo TE el tiempo de ebullición en (min), Ti tiempo inicial de la prueba con estufa fría (min), Tf tiempo final cuando el agua inicia su punto de ebullición (min).

El Consumo específico del combustible (g/L) con la siguiente ecuación:

$$CE = Pf - Pi \quad (8)$$

Siendo CE consumo específico, Pi peso de las briquetas antes de iniciar la prueba (g) y Pf Peso final del residuo obtenido (g).

La velocidad de combustión (g/min) considerando el consumo específico y el tiempo de ebullición:

$$Vc = Ce/Te \quad (9)$$

Siendo Vc velocidad de combustión (g/min), Ce consumo específico del combustible (g/l) y Te tiempo de ebullición (min).

La investigación analiza la influencia de los tres componentes principales: poda de olivo, orujo de aceituna y aglutinante, en relación a cinco variables de respuesta específicas. Estas variables incluyeron el Poder calorífico, Índice de friabilidad, Tiempo de ebullición, Consumo específico del combustible y Velocidad de combustión. Se buscó evaluar cómo la combinación y proporciones de estos componentes afectan directamente a estas variables de interés.

Con el fin de determinar el tratamiento adecuado, se establecieron rangos mínimos y máximos para los valores de orujos de aceituna (0,1 - 0,23), poda de olivo (0,6 - 0,82) y aglutinante (0,08 - 0,15). Esta técnica permite al investigador examinar cómo varía la variable dependiente o respuesta al modificar factores cuantitativos (Martínez, et al., 2009). Además, fueron examinados mediante un análisis de varianza (ANOVA) para conocer una mezcla adecuada que maximizase las variables respuesta.

3. Resultados

3.1. Determinación de las proporciones de materia prima

El análisis de los parámetros, se realizó a partir de siete tratamientos experimentales. Estos tratamientos se llevaron a cabo en tres réplicas cada uno. Es importante destacar que los factores que se tuvieron en cuenta, fueron las proporciones de los componentes de cada tratamiento, y las respuestas que se buscaban se basaban en esas proporciones en relación al total (100%), y no en la cantidad individual de cada componente. Esto se fundamenta en investigaciones previas realizadas por Nikzade et al. (2012) y Salamanca et al. (2015).

En la Tabla 1 se presenta el resumen de los valores de los parámetros obtenidos. La prueba de significancia estadística mediante el análisis de varianza (ANOVA) reveló que existe una relación estadísticamente significativa ($p = 0,0370$) entre los tratamientos y el poder calorífico, con un nivel de confianza del 95,0 %. De manera similar, se encontró que el índice de friabilidad también mostró una significancia estadística ($p = 0,0026$). Sin embargo, no se observaron efectos significativos en los demás factores en relación a los tratamientos.



Tabla 1

Valores obtenidos de las variables de estudio en la elaboración de las briquetas

| Tratamiento | Orujo | Poda | Aglutinante | PC (kcal/kg) | IF | TE (min) | CE (g) | VC (g/min) |
|-------------|-------|------|-------------|-----------------|------|-------------|-----------|---------------|
| T1 | 0,32 | 0,6 | 0,08 | 4 735,38 | 1,35 | 23 | 104,56 | 4,55 |
| T2 | 0,1 | 0,82 | 0,08 | 5 874,24 | 1,75 | 18 | 99,84 | 5,55 |
| T3 | 0,25 | 0,6 | 0,15 | 4 824,22 | 1,0 | 25 | 105,15 | 4,21 |
| T4 | 0,1 | 0,75 | 0,15 | 5 381,2 | 1,0 | 17 | 97,31 | 5,72 |
| T5 | 0,32 | 0,6 | 0,08 | 5 186,09 | 1,45 | 24 | 107,60 | 4,48 |
| T6 | 0,1 | 0,82 | 0,08 | 5 581,84 | 1,65 | 20 | 101,84 | 5,09 |
| T7 | 0,25 | 0,6 | 0,15 | 5 106,03 | 1,0 | 27 | 100,09 | 3,71 |

Nota. T1–T7 tratamientos. PC = Poder calorífico; IF= Índice de Friabilidad; TE= Tiempo de ebullición; CE=Consumo específico; VC=Velocidad de combustión.

Se resalta que el Tratamiento 2, el cual consiste en un 10 % de orujo, un 82 % de poda y un 8 % de aglutinante, mostró un poder calorífico superior en comparación con los demás tratamientos. En cuanto al índice de friabilidad, los tratamientos 3, 4 y 7 exhibieron valores más bajos, lo que indica una mayor resistencia a los golpes. Además, el Tratamiento 4, compuesto por un 10 % de orujo, un 75 % de poda y un 15 % de aglutinante, sobresalió en términos del tiempo de ebullición, ya que requirió un tiempo mínimo. Sin embargo, el Tratamiento 4 demostró condiciones más favorables en cuanto al consumo específico, ya que mostró valores más bajos. Por último, en relación a la velocidad de combustión, se destaca el Tratamiento 7, compuesto por un 25 % de orujo, un 60 % de poda y un 15 % de aglutinante, el cual registró un valor mínimo de 3,71 g/min.

Con el objetivo de comprender el comportamiento de las variables de estudio en un sistema de superficie de respuesta, se generaron modelos lineales con el fin de maximizar los valores. A continuación, se presentan los distintos modelos que fueron ajustados:

$$\text{Poder calorífico} = 4979,31 \cdot \text{orujo} + 5709,46 \cdot \text{poda} + 4849,07 \cdot \text{aglutinante}$$

$$R^2 = 71,15 \%$$

$$\text{Friabilidad} = 1.43549 \cdot \text{orujo} + 1.66451 \cdot \text{poda} - 0.0967778 \cdot \text{aglutinante}$$

$$R^2 = 92,24 \%$$

$$\text{Tiempo de ebullición} = 24,529 \cdot \text{orujo} + 17,97 \cdot \text{poda} + 24,40 \cdot \text{aglutinante} \tag{10}$$

$$R^2 = 59,98 \%$$

$$\text{Consumo Específico} = 106,381 \cdot \text{orujo} + 100,539 \cdot \text{poda} + 93,1769 \cdot \text{aglutinante} \quad R^2 = 59,34 \%$$

$$\text{Velocidad de combustión} = 4,304 \cdot \text{orujo} + 5,53 \cdot \text{poda} + 4,189 \cdot \text{aglutinante}$$

$$R^2 = 69,20 \%$$

Además, los resultados del análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95 % revelan que tanto el poder calorífico ($p = 0,0370$) como el índice de friabilidad ($p = 0,0026$) mostraron una relación estadísticamente significativa con los componentes utilizados los

5. Conclusiones

Las briquetas fabricadas a partir de residuos del olivo mostraron un poder calorífico apropiado.

La proporción óptima de componentes para la producción de briquetas, que maximizó el poder calorífico, fue de un 10% de orujo de aceituna, un 82 % de poda de olivo y un 8 % de aglutinante. Por otro lado, para minimizar el índice de friabilidad, se encontró que la proporción adecuada fue de un 25 % de orujo de aceituna, un 60 % de poda de olivo y un 15 % de aglutinante.

El orujo influyó negativamente en el poder calorífico, mientras que la poda y el aglutinante tuvieron efectos positivos. Por lo tanto, para obtener briquetas con un alto poder calorífico, se podría considerar omitir el orujo.

No se encontró una relación estadísticamente significativa entre el tiempo de ebullición, el consumo específico del combustible y la velocidad de combustión en relación con los tipos de tratamiento.

6. Referencias Bibliográficas

- Al-kassir R. (2013). Caracterización y preparación de residuos de biomasa con ensayos experimentales de secado térmico y combustión no contaminante. (Tesis de Maestría) Instituto Politecnico de Portalegre, Portugal. <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/17064/1/RaulDiserta%C3%A7aoJunio2013.pdf>
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2001. Standard methods for chemical analysis of wood charcoal, ASTM D1762-84 reprobada 2001. Philadelphia, PA. USA.
- Aquilas, Ch., Vlachokostas, Ch., Moussiopoulos, N. y Stefanou, M. (2016). Environmental impacts in the life cycle of olive oil: a literature review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(6) 1686-1697. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8143>
- Carbajal C. (2012). Estudio de la transformación química de la madera de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. <http://www.cnf.org.pe/Publicaciones/Transformacion%20quimica.pdf>
- Gallipolitti V., Corace P., Aeberhardt J. y García E. (2012). Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Gider Grupo de Investigación en Energías Renovables. <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2012/2012-t006-a004.pdf>
- Gamarra, I. (2010). Fabricación y evaluación de eficiencia y emisiones de briquetas a base de residuos. Zamorano - Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a3dadaa3-bd82-4154-9d66-cdb320ae8967/content>
- ICONTEC. (2003). Norma técnica colombiana NTC 2060. Briquetas Combustibles para Uso doméstico, 2.
- INDECOPI. (29 de enero de 2015). Indecopi entregó denominación de origen aceituna de Tacna. Gestión. <https://gestion.pe/economia/indecopi-entrego-denominacion-origen->

