

COMPARISON OF BRIQUETTES PRODUCED WITH ARTISANAL BRIQUETTING MACHINE VS BRIQUETTES PRODUCED BY MANUAL METHOD

David Armando, Lara Guardado, Ing. en Energía¹, and Ada, S. Rodríguez, Msc. En Ing. de Estructuras¹
¹Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, dlaraguardado@unitec.edu, ada.rodriguez@unitec.edu.hn

Abstract - *In rural areas of Honduras, the excessive consumption of firewood as fuel and the incineration of recyclable waste present environmental and health problems. This study focuses on the production and comparative evaluation of biomass briquettes made with an artisanal briquetting machine versus those made with a previously documented manual method. Recycled paper and cardboard, sawdust, cassava starch and charcoal were used as raw materials. The results of the egg carton briquettes (Type 1) and paper briquettes (Type 2) were compared with the ISO 17225-7 standard, which establishes the specifications for briquettes of non-woody origin, classifying them according to their raw materials, which can be of herbaceous, fruit, aquatic or mixed origin. The parameters evaluated were moisture, calorific value and combustion time. The results show that the briquettes manufactured with the handmade prototype have a better performance in terms of humidity, where there was a reduction of up to 4.15%, in calorific value there was an increase of up to 132.73 J/g and in terms of combustion time an average of 5 additional minutes were achieved. These results show that this artisanal technique is a viable, sustainable and low-cost option for rural populations with limited resources and access to conventional energy.*

Keywords - *biomass, briquettes, recycling, alternative energy, rural communities.*

COMPARACIÓN DE BRIQUETAS PRODUCIDAS CON BRIQUETADORA ARTESANAL VS BRIQUETAS REALIZADAS CON MÉTODO MANUAL

David Armando, Lara Guardado, Ing. en Energía¹, and Ada, S. Rodríguez, Msc. En Ing. de Estructuras¹
¹Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, dlaraguardado@unitec.edu, ada.rodriguez@unitec.edu.hn

Resumen- En las zonas rurales de Honduras, el consumo excesivo de la leña como combustible y la incineración de residuos reciclables presentan problemas ambientales y sanitarios. En este estudio se realiza una comparación en la producción y evaluación entre briquetas de biomasa realizadas con una briquetadora artesanal frente a las realizadas con un método manual documentado previamente. Como materias primas se utilizaron papel y cartón reciclado, aserrín, almidón de yuca y carbón vegetal. Los resultados de las briquetas de cartón de huevos (Tipo 1) y papel (Tipo 2) fueron comparados con la norma ISO 17225-7, que establece las especificaciones para briquetas de origen no leñoso, clasificándolas según sus materias primas, que pueden ser de origen herbáceo, de frutos, acuático o mezclas. Los parámetros que se evaluaron fueron la humedad, poder calorífico y tiempo de combustión. Los resultados muestran que las briquetas de fabricadas con el prototipo artesanal tienen un mejor desempeño en cuanto a humedad, donde hubo una reducción de hasta un 4.15%, en poder calorífico hubo un aumento de hasta 132.73 J/g y en cuanto a tiempo de combustión en promedio se lograron 5 minutos adicionales. Dichos resultados denotan que esta técnica artesanal es una opción viable, sostenible y de bajo costo para poblaciones rurales con recursos y acceso a energías convencionales limitados.

Palabras clave - biomasa, briquetas, reciclaje, energía alternativa, comunidades rurales.

I. INTRODUCCIÓN

En zonas rurales de Honduras, arriba del 77% de los hogares utilizan leña como fuente primaria de energía para la cocina, lo que contribuye significativamente a la deforestación y emisiones de gases de efecto invernadero [1]. Al mismo tiempo, una proporción considerable de residuos reciclables como papel y cartón terminan en vertederos o quema de los mismos sin aprovechamiento alguno [2]. Las briquetas de biomasa emergen como una alternativa ecológica, tecnológicamente sencilla, económica y energéticamente eficiente ante esta problemática.

Las briquetas se definen como biocombustibles sólidos compactados formados por materiales orgánicos. Existen una gran cantidad de documentación sobre su uso en países como Brasil, Kenia e India donde actúan como sustituto de la leña y

el carbón vegetal [3]. Ha sido demostrado por diversos estudios que el poder calorífico de las briquetas puede alcanzar niveles competitivos respecto a la leña, siempre que se controlen variables como la densidad, humedad y la composición de la mezcla [4].

Este estudio pretende evaluar y comparar el rendimiento de briquetas elaboradas por medio de una briquetadora artesanal frente al método manual tomado como referencia de una investigación anterior realizada por [5], donde la hipótesis establece que una aplicación de mayor presión mediante una herramienta mecánica mejora la calidad del producto final en cuanto a poder calorífico, humedad y tiempo de combustión.

La fabricación de briquetas aparte de presentar una alternativa energéticamente sostenible, también impulsa una valorización hacia los residuos sólidos urbanos, de forma que se reduce su acumulación en vertederos y mitigando los riesgos hacia la salud pública [6]. Además, su implementación en comunidades rurales abre la puerta a oportunidades de desarrollo económico local mediante la creación de cooperativas de producción o microempresas [7]. En investigaciones recientes, se demostró que la incorporación de aglutinantes naturales y procesos de compactación apropiados, aparte de mejorar la eficiencia térmica de las briquetas, también reduce significativamente las emisiones contaminantes en comparación con combustibles fósiles [8]. De igual forma, el desarrollo de equipos artesanales que se adapten al contexto local ha demostrado ser clave en cuanto a la adopción efectiva de este tipo de tecnologías en regiones de bajos recursos [9].

El presente estudio tiene como finalidad proponer una alternativa orientada a la disminución del consumo de leña y la consecuente reducción de los índices de deforestación en las áreas rurales de Honduras, por lo que se plantea determinar la composición óptima de una briqueta que presente características comparables a las de la leña tradicional, así como la descripción detallada de la metodología implementada para su fabricación. Asimismo, se contempla la evaluación experimental de dos tipos de briquetas con el propósito de identificar la opción más eficiente. Esta iniciativa, además de ofrecer una fuente energética alternativa, contribuirá a la disminución de residuos sólidos tanto en los hogares como en

los sitios de disposición final, mediante la reutilización de materiales comúnmente considerados desechos.

II. METODOLOGÍA

A. Materiales

Se utilizaron residuos reciclables de papel y cartón como base. Como aglutinantes se utilizó aserrín de madera, carbón vegetal y almidón de yuca. Esta última sustancia fue seleccionada debido a su gran capacidad adhesiva, baja toxicidad y disponibilidad local [10].

B. Técnicas e Instrumentos

Moldes Cilíndricos: Moldes de acero inoxidable de 10x5 cm y 10x25 cm utilizados para darle forma a las briquetas.

Taladro: Utilizado para la perforación de los moldes y para la realización de la mezcla.

Broca Mezcladora: Herramienta especial utilizada junto con el taladro para lograr una mezcla más homogénea de los materiales.

Molde Compactador: Molde de acero inoxidable diseñado para realizar la presión necesaria sobre nuestra briketa.

Briquetadora Artesanal: Prototipo utilizado para facilitar la fabricación de las briquetas.

Horno: Utilizado para el secado de las briquetas.

Pesa: Utilizada para llevar un control de los resultados de nuestro procedimiento.

Cubeta: Utilizada como recipiente en la creación de la mezcla y para el reposo de las muestras.

Tamiz: Permite extraer cualquier tipo de grumo encontrado dentro de los materiales secundarios como el aserrín, carbón vegetal o almidón de yuca.

Calorímetro: Utilizado para medir el poder calorífico del producto final.

C. Muestra

El procedimiento consistió en la creación de briquetas de diferentes medidas y materiales. Se crearon briquetas de papel y cartón como material principal con moldes de 10x15 cm y 10x25 cm en las que se crearon 4 briquetas de cada material por cada medida. Es decir 8 briquetas de papel en las que 4 serían de 10x15 cm y 4 de 10x25 cm respectivamente. En el caso de las briquetas de cartón sería exactamente igual que la cantidad de las de papel. Se dividió en varias fases diseñadas cuidadosamente para lograr la mejor homogeneidad posible en la mezcla, la eficiencia en el proceso de compactación y la evaluación del rendimiento de las briquetas. A continuación, se muestra la cantidad y porcentaje de material utilizado por briketa.

En la Tabla 1 se puede observar la cantidad de material requerido para realizar cada briketa de cartón.

TABLA I
DISEÑO DE BRIQUETAS DE CARTÓN

Briketa 1	Briketa 10x25 cm		Briketa 10x15 cm	
Componentes	Composición (g)	%	Composición (g)	%
Cartón de Huevos	119	70	84	70
Carbón Vegetal	17	10	12	10
Almidón de Yuca	17	10	12	10
Aserrín	17	10	12	10
Subtotal	170	100	120	100
Agua	4L		2.5L	

En la Tabla 2 se puede observar la cantidad de material requerido para realizar cada briketa de papel.

TABLA II
DISEÑO DE BRIQUETAS DE PAPEL

Briketa 2	Briketa 10x25 cm		Briketa 10x15 cm	
Componentes	Composición (g)	%	Composición (g)	%
Papel	119	70	84	70
Carbón Vegetal	17	10	12	10
Almidón de Yuca	17	10	12	10
Aserrín	17	10	12	10
Subtotal	170	100	120	100
Agua	4L		2.5L	

D. Recolección y preparación del material

Se recolectaron papel y cartón, seleccionados específicamente por su alta disponibilidad local y bajo contenido de aditivos para posteriormente ser troceados en piezas de 3-5 cm como se observa en la figura 1.



Fig. 1 Recolección y preparación de material reciclado.

E. Prehidratación del material

Los materiales fueron sumergidos en agua durante 2 horas dentro de cubetas, con el fin de facilitar su maleabilidad a la hora de lograr una mezcla homogénea. Se mezcló de forma manual con una varilla de madera cada 20 minutos.

F. Mezclado con aditivos

Una vez hidratados, se realizó el mezclado de los aditivos en una proporción 70:10:10:10 constituido por el material base, aserrín, carbón vegetal y almidón de yuca. Luego se utilizó el taladro en conjunto con la broca mezcladora para facilitar el proceso de mezclado y garantizar su homogeneidad. El almidón de yuca fue hervido previamente durante 15 minutos para activar su propiedad adhesiva. Este proceso de mezclado se puede ver reflejado en la figura 2.



Fig. 2 Mezclado de material.

G. Compactación con briquetadora artesanal

La mezcla terminada se vertía en los moldes intercambiables de la briquetadora artesanal que se observan en la figura 3. Se le aplicaba presión por medio de un gato de tijera por medio de una palanca roscada aplicando una fuerza constante durante 30 segundos por unidad donde se logró

observar salida de humedad proveniente de las perforaciones laterales de los moldes y una consistencia cilíndrica en las briquetas.



Fig. 3 Moldes cilíndricos de acero inoxidable de 10x15 cm y 10x25 cm.

H. Presecado al aire libre

Las briquetas resultantes se dejaron en una bandeja de metal al aire libre durante 24 horas para evitar fisuras por evaporación rápida donde la temperatura ambiente oscilaba entre los 28 y 32 °C con una humedad relativa de 70% aproximadamente. Las briquetas resultantes se pueden observar en las figuras 4 y 5.



Fig. 4 Briquetas tipo 1 en reposo.



Fig. 5 Briquetas tipo 2 en reposo.

I. Secado controlado con horno

Las briquetas previamente secadas al aire libre se introdujeron en un horno eléctrico a 70 °C durante 18 a 21

horas como se observa en la figura 6. Se pesaron antes y después del proceso para calcular el contenido de humedad restante en las mismas. Se mantuvo una ventilación constante logrando evitar la acumulación de vapor.



Fig. 6 Horneado de briquetas.

J. Evaluación de rendimiento

Las briquetas secas fueron sometidas a diferentes pruebas de laboratorio donde se evalúan las variables de humedad final mediante una balanza analítica, Standard ASTM E11 [11], poder calorífico por medio de un calorímetro [12] y el tiempo de combustión encendiendo la briqueta y cronometrando hasta su extinción. Todos los valores fueron recolectados y comparados con los obtenidos por [5] bajo exactamente las mismas condiciones y medidas a excepción de la forma de compactar las briquetas.

III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Los resultados del estudio obtenidos permiten realizar una comparación directa del desempeño de briquetas realizadas por medio de un método manual descrito en estudio anterior [5] y las briquetas resultantes utilizando la briquetadora artesanal diseñada para este estudio. Para ello se analizaron 3 variables clave como lo son la humedad, poder calorífico y duración de combustión, los cuales determinan la eficiencia energética y la calidad física del biocombustible.

A. Humedad

El contenido de humedad en las briquetas es un factor clave en la eficiencia de la combustión. Los datos revelaron que las briquetas de papel experimentaron una reducción del 28.5% (de 14.4% a 10.3%) al utilizar la briquetadora. Por su parte las de cartón registraron una disminución del 19.4% (de 17.5% a 14.1%). Esta mejora directamente asociada a la mayor presión aplicada durante el proceso de compactación, que favoreció a la eliminación del agua, junto con un secado más eficiente. Dichos resultados y comparativa se ven reflejados en la figura 7.

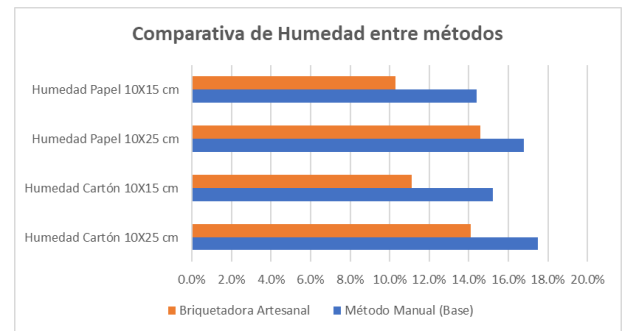


Fig. 7 Diferencia de humedad entre métodos.

B. Poder calorífico

Este representa la cantidad de energía liberada durante la combustión, donde se mostraron incrementos significativos. En las briquetas de papel, el valor promedio ascendió de 267.19 J/g (método manual) a 399.92 J/g (método briquetadora artesanal), lo que equivale a una mejora del 49.7%. Para el cartón, el aumento fue de 36%, pasando de 282.42 J/g a 384.2 J/g. Estos resultados sugieren que, gracias a la mayor densidad y homogeneidad estructural logradas con la briquetadora en las briquetas, se optimizó la capacidad energética del material. Tales datos se ven reflejados en la figura 8.

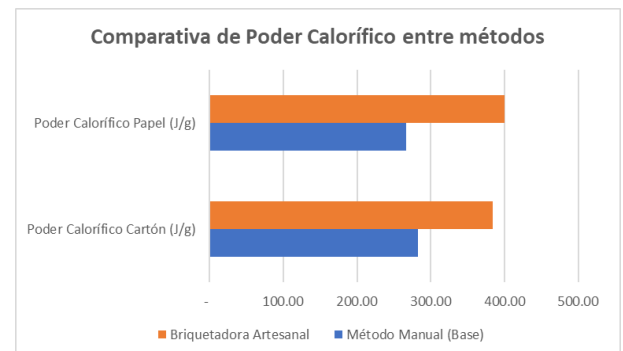


Fig. 8 Diferencia de poder calorífico entre métodos.

C. Duración de la combustión

Se realizaron pruebas empíricas por medio de un cronómetro desde la ignición hasta la extinción de la llama, donde se observó que las briquetas artesanales alcanzaron un tiempo promedio de combustión de 14 minutos, superando los 9 minutos de las manuales, es decir un aumento del 55.5% en tiempo de combustión. Esta ventaja resulta especialmente relevante en entornos domésticos ya que reduce la necesidad de reponer combustible con frecuencia. Dicha comparativa entre tiempos de combustión se reflejan en la figura 9.

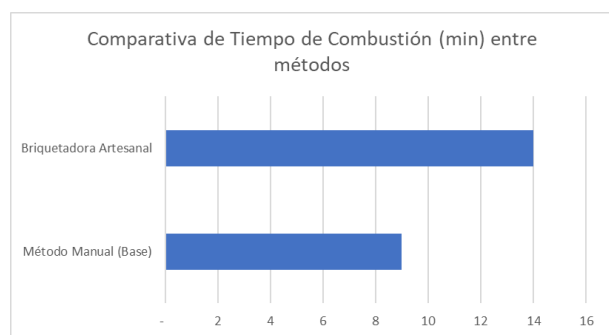


Fig. 9 Diferencia de humedad entre métodos.

En la Tabla 3 se pueden observar los resultados antedichos y la comparación con el método manual del estudio previo.

TABLA III
COMPARATIVA DE RESULTADOS ENTRE MÉTODOS

Variable	Método Manual	Briquetadora Artesanal	Mejora
Humedad Cartón 10x25 cm	17.5%	14.1%	-3.4%
Humedad Cartón 10x15 cm	15.2%	11.1%	-4.1%
Humedad Papel 10x25 cm	16.8%	14.6%	-2.2%
Humedad Papel 10x15 cm	14.4%	10.3%	-4.1%
Poder Calorífico Cartón (J/g)	282.42	384.2	101.78
Poder Calorífico Papel (J/g)	267.19	399.92	132.73
Tiempo de Combustión (min)	9	14	5

Las briquetas artesanales superaron en todas las variables estudiadas a las fabricadas de forma manual, acercándose al rendimiento energético de la leña convencional [13]. Los resultados confirman que una mayor compactación mejora el rendimiento de las briquetas [14][15]. Una humedad reducida favorece en gran medida el almacenamiento y reduce el humo generado [16]. La norma UNE-EN ISO 17225-7 (que sustituye a las normas ISO 17225-7 anteriores) establece dichas especificaciones y para una combustión eficiente, la humedad debería ser baja, siendo $\leq 15\%$ el rango aceptable para que una briqueta cumpla con el estándar de calidad [17].

La utilización del almidón de yuca como aglutinante fue clave para la cohesión estructural. Además, el uso de moldes metálicos y una presión manual controlada permite uniformidad, replicabilidad y una estructura más densa [10].

IV. CONCLUSIONES

Se demuestra que la utilización de una briquetadora artesanal mejora significativamente la calidad de las briquetas producidas a base de materiales reciclados tales como el papel y el cartón. Los resultados obtenidos reflejan evidentes mejoras en las tres variables evaluadas como la humedad, en un rango de 2% a 4%, el poder calorífico, de 100 J a 140 J y el tiempo de combustión, en 5 minutos.

La reducción de la humedad en las briquetas fabricadas por medio de la briquetadora artesanal (representando un 28.47% menos en comparación con el método manual), resalta una eficiencia mayor en el secado y una mejora en la extracción de líquidos durante el proceso de compactación, lo que permite una humedad muy baja que favorece a una ignición más rápida, menor emisión de humo y una combustión más estable.

El poder calorífico claramente presentó una mejor al incrementar hasta en un 49.7%, es decir una mayor cantidad de energía utilizable por cada unidad de masa. Proporcionando una mejora que se asocia directamente en una mayor densidad estructural que se logró a base de una presión mecánica controlada, contribuyendo intrínsecamente en una combustión más prolongada y eficiente.

El tiempo de combustión presentó una mejora significativa de hasta un 55% más gracias a la utilización de la briquetadora artesanal, lo brinda una ventaja práctica bastante considerable para un uso doméstico, reduciendo así la frecuencia de intercambio de briquetas o combustibles durante el proceso de combustión y proporcionando una fuente de energía más continua.

Además, la estandarización de las briquetas elaboradas con una briquetadora artesanal presentan una ventaja significativa en su eficiencia energética. Al mejorar su forma, tamaño y densidad de manera uniforme, estas briquetas además de mejorar su comportamiento térmico durante la combustión facilitan su almacenamiento, durabilidad y transporte, optimizando su distribución en un contexto rural. Esta uniformidad estructural, mejora su presentación, reduce sus pérdidas por rotura y permite su integración a sistemas de producción local. De esta forma las briquetas artesanales ofrecen una solución de energía limpia y sostenible, además de abrir oportunidades de emprendimiento y apoyando a la economía circular, sin mencionar la mejora en gestión de residuos, fortaleciendo su posición como sustituto real de la leña en zonas con acceso limitado a la energía convencional.

REFERENCIAS

- [1] S. W. I. swissinfo.ch, «Honduras pierde al año 78.000 hectáreas de bosque y pide más responsabilidad», SWI swissinfo.ch. Accedido: 29 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.swissinfo.ch/spa/honduras-pierde-al-año-78-000-hectáreas-de-bosque-y-pide-más-responsabilidad/46558392>

- [2] CNP+LH, «Gestión Integrada de Residuos Sólidos», ago. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.cnpml-honduras.org/wp-content/uploads/2021/08/Guia-Simplificada-para-Elaboracion-de-Planes-de-Gestion-Integrada-de-Residuos-Solidos.pdf>
- [3] E. J. S. Mitchell *et al.*, «The use of agricultural residues, wood briquettes and logs for small-scale domestic heating», *Fuel Processing Technology*, vol. 210, p. 106552, dic. 2020, doi: 10.1016/j.fuproc.2020.106552.
- [4] H. G. Ibrahim, S. K. Ouiminga, A. Yonli, O. Sanogo, T. Dahou, y J. Koulidiati, «Study of Temperature Fields and Heavy Metal Content in the Ash and Flue Gas Produced by the Combustion of Briquettes Coming from Paper and Cardboard Waste», *Recycling*, vol. 3, n.º 3, Art. n.º 3, sep. 2018, doi: 10.3390/recycling3030032.
- [5] D. A. Reyes Martínez y A. S. Rodríguez, «DESIGN OF BRIQUETTES AS A SUSTAINABLE ALTERNATIVE TO FIREWOOD IN SAN PEDRO SULA, HONDURAS 2023. », en *Proceedings of the 22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2024): "Sustainable Engineering for a Diverse, Equitable, and Inclusive Future at the Service of Education, Research, and Industry for a Society 5.0."*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2024. doi: 10.18687/LACCEI2024.1.1.1105.
- [6] H. Gilvari, W. de Jong, y D. L. Schott, «Quality parameters relevant for densification of bio-materials: Measuring methods and affecting factors - A review», *Biomass and Bioenergy*, vol. 120, pp. 117-134, ene. 2019, doi: 10.1016/j.biombioe.2018.11.013.
- [7] «(PDF) Biomass Energy for Sustainable Development». Accedido: 30 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/378577718_Biomass_Energy_for_Sustainable_Development
- [8] «Densification Characteristics of Corn Stover and Switchgrass», Accedido: 30 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.13031/2013.27380>
- [9] S. E. Ibitoye, R. M. Mahamood, T.-C. Jen, C. Loha, y E. T. Akinlabi, «An overview of biomass solid fuels: Biomass sources, processing methods, and morphological and microstructural properties», *Journal of Bioresources and Bioproducts*, vol. 8, n.º 4, pp. 333-360, nov. 2023, doi: 10.1016/j.jobab.2023.09.005.
- [10] S. E. Ibitoye, T.-C. Jen, R. M. Mahamood, y E. T. Akinlabi, «Densification of agro-residues for sustainable energy generation: an overview», *Bioresour Bioprocess*, vol. 8, n.º 1, p. 75, ago. 2021, doi: 10.1186/s40643-021-00427-w.
- [11] «Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves». Accedido: 29 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://store.astm.org/e0011-22.html>
- [12] U. P. Onochie *et al.*, «Potentials of Biomass Waste Resources with Respect to their Calorific Value, Proximate and Ultimate Analysis for Energy Utilization», *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 1178, n.º 1, p. 012012, may 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1178/1/012012.
- [13] R. E. Silva Gómez, «Elaboración de briquetas y análisis del poder calorífico para su utilización como combustible sólido en cocinas eco-barril y comparar su eficiencia con la leña del *Pithecellobium Arboreum* en los laboratorios de Leña de la F.T.I en la Universidad Nacional de Ingeniería. UNI-RUPAP».
- [14] I. H. Gado, S. K. Ouiminga, T. Dahou, A. H. Yonli, M. Sougoti, y J. Koulidiati, «Characterization of Briquettes Coming From Compaction of Paper and Cardboard Waste at Low and Medium Pressures», *Waste Biomass Valor*, vol. 5, n.º 4, pp. 725-731, ago. 2014, doi: 10.1007/s12649-013-9282-3.
- [15] M. Brožek, «Evaluation of selected properties of briquettes from recovered paper and board», *Research in Agricultural Engineering*, vol. 61, n.º 2, pp. 66-71, jun. 2015, doi: 10.17221/61/2013-RAE.
- [16] F. Sotoudehnia, A. Baba Rabiou, A. Alayat, y A. G. McDonald, «Characterization of bio-oil and biochar from pyrolysis of waste corrugated cardboard», *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 145, p. 104722, ene. 2020, doi: 10.1016/j.jaap.2019.104722.
- [17] «Une-En Iso 17225-7 | PDF», Scribd. Accedido: 6 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/770577430/UNE-EN-ISO-17225-7>.