

**EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y PROPIEDADES FÍSICAS DE  
BRIQUETAS ELABORADAS CON RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS EN TACNA  
EVALUATION OF MOISTURE CONTENT AND PHYSICAL PROPERTIES OF  
BRIQUETTES MADE WITH LIGNOCELLULOSIC WASTE IN TACNA**

**Autores:** <sup>1</sup>Alejandro Rayder Aarón Gonzáles Maquera.

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-1064-2975>

<sup>1</sup>E-mail de contacto: [aragonzalesm@unjbg.edu.pe](mailto:aragonzalesm@unjbg.edu.pe)

Afiliación: <sup>1</sup>\*Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Artículo recibido: 31 de junio del 2025

Artículo revisado: 1 de julio del 2025

Artículo aprobado: 12 de julio del 2025

<sup>1</sup>Estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre de Tacna, (Perú).

### Resumen

El presente artículo tiene por objeto fue evaluar el contenido de humedad y las propiedades físicas de briquetas elaboradas a partir de residuos lignocelulósicos disponibles en la ciudad de Tacna, con el propósito de determinar su viabilidad como biocombustible sólido alternativo, para ello se utilizaron residuos de poda de pasto, aserrín y papel reciclado, elaborando seis formulaciones distintas mediante un diseño de mezclas, la investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, experimental y aplicado, se determinaron variables físicas como masa, volumen y densidad, así como parámetros físicos como humedad y contenido de cenizas, empleando herramientas estadísticas, el análisis de varianza reveló que el contenido de humedad fue significativamente influenciado por la proporción de aserrín en la mezcla, mientras que la densidad se incrementó al elevar el porcentaje de este componente, la superficie de respuesta y el diagrama de Pareto confirmaron que el aserrín mejora la compactación de las briquetas, se concluye que las briquetas compuestas por mayores proporciones de aserrín y menores contenidos de poda de pasto presentan mejores características físicas y menor contenido de humedad, lo que favorece su estabilidad durante el almacenamiento y su eficiencia energética en la combustión, estos resultados respaldan la valorización de residuos lignocelulósicos locales como una alternativa sostenible para la producción de biocombustibles sólidos.

**Palabras clave:** Briquetas, Residuos Lignocelulósicos, Contenido de humedad, Densidad, Biomasa, Tacna.

### Abstract

The purpose of this article was to evaluate the moisture content and physical properties of briquettes made from lignocellulosic waste available in the city of Tacna, in order to determine its viability as an alternative solid biofuel, for this purpose grass pruning waste, sawdust and recycled paper were used, developing six different formulations through a mixture design, the research was developed under a quantitative, experimental and applied approach, physical variables such as mass, volume and density were determined, as well as physical parameters such as humidity and ash content, using statistical tools, the analysis of variance revealed that the moisture content was significantly influenced by the proportion of sawdust in the mixture, while the density increased by raising the percentage of this component, the response surface and the Pareto diagram confirmed that sawdust improves the compaction of the briquettes, it is concluded that briquettes composed of higher proportions of sawdust and lower contents of grass pruning have better physical characteristics and lower content of humidity, which favors its stability during storage and its energy efficiency during combustion. These results support the valorization of local lignocellulosic waste as a sustainable alternative for the production of solid biofuels.

**Keywords:** Briquettes, Lignocellulosic

**waste, Moisture content, Density, Biomass, Tacna.**

### **Sumário**

O objetivo deste artigo foi avaliar o teor de umidade e as propriedades físicas de briquetes feitos de resíduos lignocelulósicos disponíveis na cidade de Tacna, a fim de determinar sua viabilidade como um biocombustível sólido alternativo, para o qual foram utilizados resíduos de poda de grama, serragem e papel reciclado, criando seis formulações diferentes usando um delineamento de mistura, a pesquisa foi desenvolvida sob uma abordagem quantitativa, experimental e aplicada, determinando variáveis físicas como massa, volume e densidade, bem como parâmetros físicos como umidade e teor de água, usando ferramentas estatísticas, a análise de variação revelou que o teor de umidade foi significativamente influenciado pela proporção de serragem na mistura, enquanto a densidade aumentou com o aumento da porcentagem deste componente, a superfície de resposta e o diagrama de Pareto confirmaram que a serragem melhorou a compactação dos briquetes, concluiu-se que os briquetes compostos por maiores proporções de briquetes e menores teores de poda de grama apresentaram melhores características físicas e menor teor de umidade, o que favorece sua estabilidade durante o armazenamento e sua eficiência energética durante a combustão, esses resultados apoiam a valorização de materiais lignocelulósicos locais. Resíduos como alternativa sustentável para a produção de biocombustíveis sólidos.

**Palavras-chave: Briquetes, Resíduos Lignocelulósicos, Teor de umidade, Densidade, Biomassa, Tacna.**

### **Introducción**

La creciente demanda de fuentes energéticas sostenibles y la necesidad de reducir la dependencia de combustibles fósiles han llevado a la búsqueda de alternativas renovables que permitan una transición energética más limpia y abaratando costos. En

este contexto, los biocombustibles sólidos como las briquetas representan una solución viable, particularmente en regiones con alta generación de residuos orgánicos lignocelulósicos con baja regulación y escasa cobertura energética formal o constante (Castro et al., 2024) como en las viviendas de zonas altoandinas. Estos materiales derivados de restos vegetales y subproductos forestales, poseen propiedades físicas y químicas que los convierten en una fuente energética potencialmente eficiente, económica y ambientalmente amigable (Gamarra, 2011). A nivel internacional, diversos estudios han abordado la producción y evaluación de briquetas a partir de residuos agrícolas como cáscaras, podas, y aserrín con resultados prometedores en cuanto a su poder calorífico, densidad energética y desempeño mecánico (Espíritu, 2021). En países como India, Brasil y Ghana, el uso de briquetas para cocción doméstica o calefacción ha demostrado reducir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> y mitigar la tala de árboles (Díaz et al., 2020). Sin embargo, las características de las briquetas dependen en gran medida de los materiales utilizados, el proceso de fabricación, las condiciones de secado y la proporción de los componentes (Mendoza et al., 2020).

En el caso peruano, y específicamente en la ciudad de Tacna, existe una considerable generación de residuos lignocelulósicos urbanos tales como pasto seco proveniente de áreas verdes, papel reciclado de oficinas y aserrín de carpinterías locales, cuya gestión actual carece de un enfoque de valorización energética. A pesar del potencial evidente de estos residuos para la producción de biocombustibles sólidos se han realizado pocos estudios que evalúen técnica y experimentalmente su rendimiento energético

y sus propiedades físicas bajo condiciones locales. El presente estudio busca contribuir a esta línea de investigación mediante la evaluación experimental del poder calorífico y las propiedades físicas de briquetas fabricadas a partir de pasto seco, aserrín y papel reciclado en distintas proporciones. Se empleó una metodología que incluye la recolección y tratamiento de residuos, el diseño de mezclas, la compactación, el secado, y el análisis de variables críticas como densidad, humedad. Los resultados obtenidos permiten identificar las concentraciones con el diseño experimental más eficientes para su uso energético y discutir su viabilidad como una alternativa para el aprovechamiento de residuos en el contexto de energías renovables locales contribuyendo con la gestión sostenible de residuos sólidos urbanos en Tacna. Este trabajo se proyecta en la creciente literatura sobre energías verdes descentralizadas y busca posicionar el uso de briquetas como una tecnología apropiada, replicable y adaptada a contextos rurales y urbanos del sur del Perú.

Las briquetas energéticas son un tipo de biocombustible sólido, fabricadas mediante la compactación de materiales orgánicos secos y triturados. Su uso ha cobrado relevancia como alternativa a la leña y al carbón vegetal, especialmente en comunidades rurales y periurbanas donde el acceso a fuentes de energía limpia es limitado. Estas briquetas se caracterizan por su capacidad de combustión sostenida, bajo contenido de humedad y posibilidad de ser producidas localmente a partir de residuos agrícolas, forestales o urbanos (Vivanco et al., 2021). En la ciudad de Tacna, existe una generación constante de residuos lignocelulósicos, como el pasto seco proveniente del mantenimiento de áreas verdes, el aserrín de carpinterías locales y el papel reciclado de oficinas, que pueden ser

aprovechados para la fabricación de briquetas energéticas, la valorización de estos residuos representa una oportunidad para reducir el volumen de desechos sólidos y producir energía térmica de manera limpia y sostenible. La Tabla 1 recopila seis formulaciones experimentales de briquetas energéticas evaluadas en este estudio, todas ellas compuestas por tres fracciones lignocelulósicas para analizar cómo la materia prima vegetal influye en las propiedades físicas y el desempeño energético de las briquetas.

**Tabla 1.** *Composición de las briquetas elaboradas*

Muestra de briqueeta	Pasto (%)	Aserrín (%)	Papel (%)
A1	50	30	20
A2	40	40	20
A3	60	20	20
A4	30	50	20
A5	40	40	20
A6	20	60	20

Fuente: elaboración propia

Los residuos lignocelulósicos son aquellos compuestos por celulosa, hemicelulosa y lignina, estos componentes otorgan al material propiedades estructurales y representan una fuente importante de energía potencial cuando son sometidos a procesos de combustión controlada. Algunos ejemplos comunes incluyen restos de poda, residuos agrícolas, hojas secas, papel, aserrín y residuos de cultivos (Sun & Cheng, 2002). La Tabla 2 presenta la composición estructural de los residuos utilizados en la elaboración de briquetas, destacando los porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina.

**Tabla 2.** *Contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina de residuos para briquetas*

Residuo	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)
Papel	85-99	0	0-15
Aserrín	37-72	25-35	25-35
Poda de pasto	40-44	25-26	4.8 - 7

Fuente: (Sun y Cheng, 2002)

La combinación de pasto seco, aserrín y papel reciclado proporciona una mezcla rica en fibra vegetal lo cual facilita la formación de briquetas de buena consistencia física y con propiedades térmicas aceptables, estos materiales al ser sometidos a procesos de secado y compactación permiten obtener briquetas con una estructura sólida, baja humedad y densidad energética adecuada (Morales et al., 2018) El poder calorífico también conocido como poder energético es la cantidad de energía térmica que se libera durante la combustión completa de un material, se expresa generalmente en megajulios por kilogramo (MJ/kg) y constituye uno de los parámetros más importantes para evaluar la calidad de un biocombustible sólido (Huaman et al., 2021). En el caso de las briquetas elaboradas con pasto, papel y aserrín, el poder calorífico se ve influenciado por la proporción de cada componente, el grado de compactación y el contenido de humedad final, mientras mayor presencia de lignina y una baja humedad residual favorecen una mayor generación de calor. La Tabla 3 muestra el poder calorífico individual de distintos componentes derivados de residuos utilizados como insumos recuperados para briquetas energéticas.

**Tabla 3.** Poder calorífico de los componentes derivados de residuos

Componente de combustibles derivados de residuos	Poder calorífico (MJ/kg)
Papel	0.424
Cartón	0.276
Residuos de jardín	2.086
Residuos textiles	3.599
Residuos de madera	1.411
Residuos de plástico	0.746
Total	8.542

Fuente: (Ramírez y Vargas, 2014)

La densidad aparente es la relación entre el peso de la briketa y su volumen, una mayor densidad indica una mayor cantidad de energía

por unidad de volumen lo cual es deseable en aplicaciones domésticas o industriales (García et al., 2018). La presencia de agua en las briquetas reduce su poder calorífico y puede dificultar su ignición. Para un buen rendimiento se recomienda un contenido de humedad inferior al 10% (Niño, 2019). Por otro lado, la durabilidad al impacto. Se evalúa mediante pruebas de caída o agitación reflejando qué tan bien resiste la briketa los golpes durante el transporte, una briketa con baja durabilidad tiende a desintegrarse generando polvo y reduciendo su eficacia como combustible (Huaman et al., 2019).

### **Materiales y Métodos**

La presente investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación de Ingeniería Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, ubicada en la ciudad de Tacna, Perú, ubicada a 554 msnm, entre las coordenadas 18°02'41'' S y 70°13'67'' W, y presenta un clima árido, con temperaturas promedio entre 11,5 °C y 26,4 °C y las precipitaciones medias anuales varían entre 10 mm en zona costera hasta 240 mm en la zona alta (Pino et al., 2017). La población estuvo conformada por residuos agrícolas lignocelulósicos generados en la zona agrícola de Tacna, específicamente de residuos de poda de pasto, aserrín y papel reciclado, se empleó la técnica de observación experimental registrando los datos mediante una ficha de observación estructurada, se aplicó también el diseño de un solo factor categórico por las proporciones de tres componentes (pasto, aserrín y papel) se variaron para observar sus efectos sobre propiedades físicas. Este tipo de diseño es ideal cuando las variables independientes son proporciones que suman un total fijo, este enfoque metodológico permitió identificar las combinaciones óptimas para

obtener briquetas con bajo contenido de humedad y propiedades físicas adecuadas para su uso como fuente energética.

### Resultados y Discusión

Los resultados se obtuvieron del análisis físico de las briquetas elaboradas a partir de residuos lignocelulósicos en diferentes proporciones de pasto seco, papel reciclado y aserrín, para esta etapa del estudio se evaluaron las dimensiones físicas, masa, volumen y densidad de seis muestras experimentales, codificadas como A1, A2, A3, A4, A5 y A6, la medición fue realizada en laboratorio posterior al secado de las briquetas. La Tabla 4 presenta las cantidades en gramos de cada componente utilizadas en la formulación de las briquetas según el diseño de mezcla establecido.

**Tabla 4.** *Cantidades calculadas del diseño de mezcla en las briquetas elaboradas*

Muestra de briketa	Pasto (g)	Aserrín (g)	Papel (g)
A1	37.995	22.797	15.198
A2	27.536	27.536	13.768
A3	30.666	10.222	10.222
A4	20.511	34.185	13.674
A5	27.484	27.484	13.742
A6	14.672	44.016	14.672

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a los descrito en la tabla 4, la densidad es uno de los parámetros fundamentales que permite estimar el desempeño energético de las briquetas. Una densidad más alta generalmente indica una mayor compactación, mayor contenido energético por unidad de volumen y mejor resistencia mecánica, aspectos deseables para su manipulación, transporte y uso final (Cutipa et al., 2023). La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos para las características físicas de las briquetas elaboradas, incluyendo dimensiones, volumen, masa y densidad.

**Tabla 5.** *Resultados de las características físicas de las muestras briquetas*

Características físicas briquetas	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Volumen vacío	Volumen final	Masa (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
A1	7.06	4.80	187.91	3.77	184.14	75.99	0.41
A2	7.06	4.90	191.82	3.85	187.97	68.84	0.37
A3	7.30	4.90	205.08	3.85	201.23	51.11	0.25
A4	6.96	4.02	152.94	3.16	149.78	68.37	0.46
A5	7.06	4.51	176.55	3.54	173.01	68.71	0.40
A6	7.06	3.82	149.54	3.00	146.54	73.36	0.50

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con los datos mostrados en la tabla 5, la muestra A6 presentó la mayor densidad aparente con 0.50 g/cm<sup>3</sup>, seguida por A4 con 0.46 g/cm<sup>3</sup>, estos valores reflejan una mejor compactación del material, lo cual puede estar relacionado con el comportamiento aglutinante del papel al mezclarse con fibras de pasto y sobre todo con partículas finas de aserrín. En contraste, la muestra A3 presentó la menor densidad (0.25 g/cm<sup>3</sup>), lo cual sugiere una estructura más porosa o una menor cohesión de los componentes, este tipo de briketa podría presentar limitaciones durante la combustión o el almacenamiento, ya que una baja densidad reduce la eficiencia energética por unidad de volumen (Bastidas et al., 2022). Los resultados también indican que pequeñas variaciones en el volumen y la altura de las briquetas influyen significativamente en la densidad final, el control del proceso de compactación y la proporción de aglutinante son factores clave para optimizar las propiedades del producto final (Rodríguez et al., 2025). La Figura 1 presenta la relación entre la masa de las briquetas y la composición de sus componentes, siendo las formulaciones con

mayor contenido de aserrín las que tienden a presentar mayor masa.



**Figura 1.** Resultados de la relación de masa con la composición de briquetas elaboradas

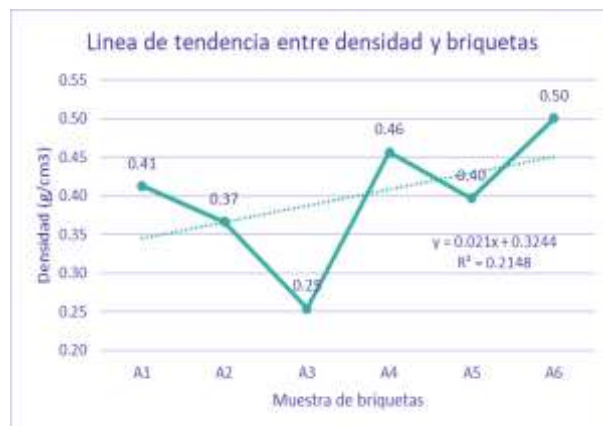
La figura 2 muestra la relación del volumen final de cada muestra de briqueta elaborada, en función de su composición.



**Figura 2.** Relación del volumen con la muestra de briquetas elaboradas

Los valores de densidad obtenidos se encuentran dentro del rango esperado para briquetas elaboradas a base de residuos lignocelulósicos, que suele variar entre 0.25 y 0.50 g/cm<sup>3</sup> (Urbina, 2023), datos importantes para seleccionar las formulaciones más apropiadas para continuar con los análisis de poder calorífico en etapas posteriores del estudio. En la figura 3 presenta la relación entre la densidad y las diferentes muestras de briquetas elaboradas, siendo las briquetas con

mayor contenido de aserrín las que tienden a alcanzar una densidad más alta.



**Figura 3.** Resultados de la relación de la densidad con las briquetas elaboradas

En la Tabla 6 muestra el contenido de humedad de los tres residuos utilizados en la elaboración de briquetas, la humedad influye directamente en la eficiencia de combustión y almacenamiento del biocombustible, utilizándose la fórmula de humedad (%) para determinarlo (Humedad (%) = (Peso húmedo – Peso seco) / Peso Húmedo) \* 100

**Tabla 6.** Porcentaje de humedad de residuos para briquetas

Muestra	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Contenido de humedad (%)
Aserrín	62.9894	61.6953	2.0544726
Poda de pasto	61.6953	60.2763	2.3000131
Papel reciclado	61.1	55.89	8.5270049

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 7 se presenta el contenido de cenizas obtenido a partir de la calcinación de residuos agrícolas utilizados en la elaboración de briquetas, puede influir en la generación de residuos sólidos tras la combustión y en la calidad del biocombustible producido, para lo que se sigue la fórmula de cenizas, la misma que corresponde a: (Cenizas (%)) = ((Peso del crisol con cenizas – Peso del crisol vacío) / Peso inicial de la muestra) \* 100

**Tabla 7.** *Contenido de cenizas de los residuos agrícolas*

Muestra de briqueta	Crisol vacío (g)	Peso inicial de la muestra (g)	Crisol + Cenizas (g)	Contenido de cenizas (%)
Aserrín	46.1000	2.9702	46.16140	2.07
Poda de pasto	46.6399	1.9022	46.70670	3.51

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 8 se puede observar la relación entre la composición de poda de pasto y aserrín en las briquetas elaboradas, junto con su correspondiente contenido de humedad, permite analizar el impacto de la composición lignocelulósica sobre la retención de humedad en el biocombustible sólido.

**Tabla 8.** *Análisis de la composición de briqueta con su contenido de humedad*

Muestra de briqueta	Poda de pasto (g)	Aserrín (g)	Contenido de humedad (%)
A1	37.995	22.797	10.7
A2	27.536	27.536	9.5
A3	30.666	10.222	8.7
A4	20.511	34.185	9.9
A5	27.484	27.484	9.8
A6	14.672	44.016	9.7

Fuente: elaboración propia

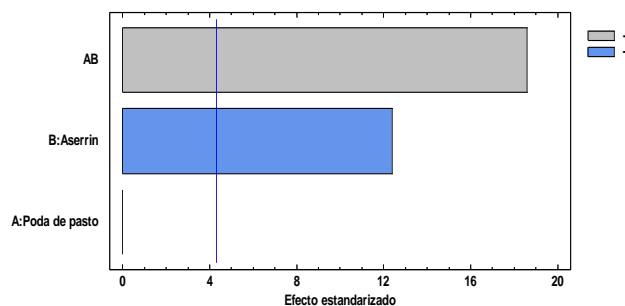
A continuación, se presenta la Tabla 9, en donde se puede observar la prueba de ANOVA aplicado a la composición de las briquetas en función de su contenido de humedad, los resultados indican que la variable aserrín ( $p=0.0064$ ) y la interacción entre poda de pasto y aserrín ( $p=0.0029$ ) tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la humedad, sugiere que el contenido de humedad en las briquetas depende más del porcentaje de aserrín y su interacción con el pasto, lo cual es clave para optimizar las mezclas.

**Tabla 9.** *Análisis de la composición de briqueta con su contenido de humedad*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Poda de pasto	0	1	0.0	0	1
B: Aserrín	0.64	1	0.64	153.6	0.0064
AB	1.44	1	1.44	345.6	0.0029
Error total	0.00833333	2	0.00416667		
Total (corr.)	2.08833	5			

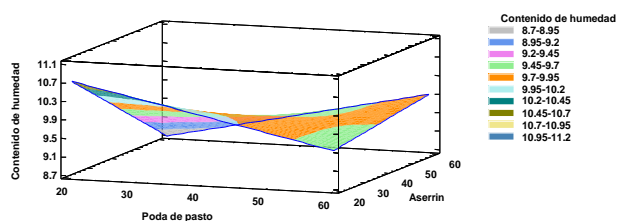
Fuente: elaboración propia

En la Figura 4 muestra el diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad en las briquetas elaboradas, esta figura permite identificar los factores más influyentes sobre la variable de respuesta, destacando que el aserrín y su interacción con la poda de pasto son los componentes que generan un mayor efecto significativo sobre la humedad, superando el umbral de significancia estadística.



**Figura 4.** *Diagrama de Pareto estandarizada para contenido de humedad*

En la Figura 5 presenta la superficie de respuesta estimada para el contenido de humedad en función de la composición de poda de pasto y aserrín en las briquetas, permite visualizar cómo varía la humedad según las proporciones de los componentes, evidenciando que, a mayor contenido de aserrín se reduce la humedad de la briqueta, esta herramienta es clave para optimizar formulaciones con base en la respuesta deseada.



**Figura 5.** Superficie de respuesta estimada a la concentración de humedad y muestra de briqueta

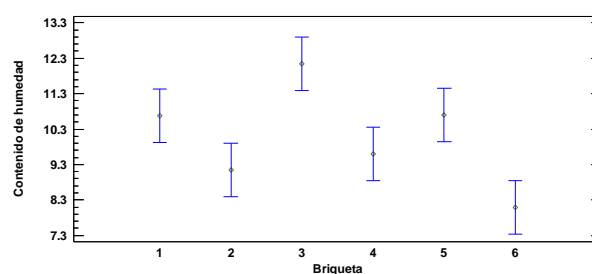
La siguiente ecuación de regresión proporcionada representa un modelo estadístico que estima el contenido de humedad de las briquetas en función de la cantidad (en gramos) de poda de pasto y aserrín utilizadas en su composición. Para establecer el contenido de humedad =  $12.9167 - 0.06 * \text{Poda de pasto} - 0.08 * \text{Aserrín} + 0.0015 * \text{Poda de pasto} * \text{Aserrín}$ . Asimismo, indica que aumentar individualmente la cantidad de poda de pasto o aserrín disminuye el contenido de humedad, siendo el aserrín más efectivo, sin embargo, cuando ambos componentes aumentan simultáneamente, se observa un pequeño aumento de humedad por efecto de interacción. Esta ecuación es útil para predecir la humedad en futuras formulaciones y optimizar la mezcla de residuos para mejorar la calidad de las briquetas. La Tabla 10 muestra el análisis del porcentaje de humedad promedio en las distintas muestras de briquetas, así como su clasificación en grupos homogéneos, en función de las cantidades de poda de pasto y aserrín empleadas en su formulación.

**Tabla 10.** Porcentaje de humedad de residuos para briquetas

Briqueta	Casos	Media	Grupos Homogéneos
6	3	8.08333	X
2	3	9.14333	X
4	3	9.59333	XX
1	3	10.6767	XX
5	3	10.7033	XX
3	3	12.1433	X

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6 muestra los resultados de las medias de humedad para cada muestra de briqueta, junto con los intervalos de confianza al 95 % calculados mediante el método de Tukey HSD.



**Figura 6.** Resultados de las medias y 95% de Tukey HSD

### Conclusiones

El presente artículo permitió evaluar el potencial de residuos lignocelulósicos entre poda de pasto, aserrín y papel reciclado para la fabricación de briquetas energéticas en la ciudad de Tacna, específicamente en la influencia de las proporciones de mezcla sobre la humedad y las propiedades físicas del biocombustible. Al buscar determinar la composición ideal de residuos lignocelulósicos para la producción de briquetas se concluye que las formulaciones con mayores proporciones de aserrín y menores cantidades de poda de pasto generaron briquetas con menor contenido de humedad y mejor compactación, lo que favorece su desempeño como combustible sólido. Asimismo, se centró en analizar las propiedades físicas de las briquetas elaboradas, se identificó que las mezclas equilibradas (40 % poda de pasto, 40 % aserrín, 20 % papel) presentaron mejores resultados en cuanto a densidad ( $>0.40 \text{ g/cm}^3$ ), volumen útil, lo cual sugiere un comportamiento estable y adecuado durante su manipulación y combustión. Finalmente, el modelar estadísticamente la influencia de los componentes sobre el contenido de humedad, el análisis de varianza (ANOVA) y la



superficie de respuesta permitieron confirmar que el factor aserrín y su interacción con la poda de pasto tienen un efecto estadísticamente significativo, este hallazgo respalda la posibilidad de optimizar la formulación de briquetas mediante herramientas de diseño de mezclas, contribuyendo a la valorización energética de residuos locales en un contexto de economía circular y sostenibilidad energética.

### **Agradecimientos**

El autor expresa su más profundo agradecimiento a su madre y padre, cuyo apoyo incondicional y aliento constante han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Asimismo, se extiende un especial reconocimiento a su hermano y abuelos, por su compañía y motivación en cada etapa del proceso académico. Se agradece también a los docentes de la ESAM y a G.I.N.M. por su respaldo técnico y científico que permitió la realización de este estudio.

### **Referencias Bibliográficas**

Bastidas, M., Valera, R., & Serrano, D. (2022). Producción de briquetas a partir de raquis residual de la palma africana para las comunidades alfareras del norte del Cesar (Colombia). *Información Tecnológica*, 33(1), 193–201.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000100193>

Castro, A., Téllez, L., Salazar, M., & Solanilla, J. (2024). Uso de residuos vegetales para la generación sostenible de energía calórica: una revisión.  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9818144.pdf>

Cutipa, R., Rivera, H., Velásquez, P., Falcón, R., & Velarde, A. (2023). Evaluación del nivel de emisiones y poder calorífico en briquetas de residuos del olivar. *Revista de Ingeniería Energética*, 44(2), 1–8.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9338188>

Díaz, I., Díaz, A., Rodríguez, A., Alfonso Álvarez, A., & Tamayo, J. (2020). Briquetas energéticas con aserrín y corteza de pino. *Revista de Ingeniería Energética*, 41(1), 1–6.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7377641>

Espíritu, K. (2021). *Producción de briquetas vegetales utilizando el aserrín de madera y fibras de semilla de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) para su uso como combustible sólido*.  
<https://api-repositorio.unia.edu.pe/server/api/core/bitstreams/46218304-f67e-462a-afcf-7f6bd2ef3621/content>

Gamarra, L. (2011). *Fabricación y evaluación de eficiencia y emisiones de briquetas a base de residuos agrícolas como alternativa energética al uso de leña*.  
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a3dadaa3-bd82-4154-9d66-cdb320ae8967/content>

García L., Benítez P., Valero S., y Gutiérrez I., (2018). Elaboración de Briquetas a Partir de Residuos de Aserrín Aglutinados con Almidón de Maíz y su Posible Aplicación como Aislante Térmico. *Ingeniería*, 29(1).  
<https://doi.org/10.15517/ri.v29i1.33090>

Hoyos, C., González, Y., & Mendoza, J. (2019). Elaboración de biocombustibles sólidos densificados a partir de la mezcla de dos biomásas residuales, un aglomerante a base de yuca y carbón mineral, propios del departamento de Córdoba. *INGENIARE - Revista Chilena de Ingeniería*, 27(3), 454–464.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7152046>

Huaman, H., Ramírez, M., & Surichaqui, R. (2021). *Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche, Jauja - 2021*.  
[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10655/1/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Huaman\\_Ramirez\\_Surichaqui\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10655/1/IV_FIN_107_TE_Huaman_Ramirez_Surichaqui_2021.pdf)

Mendoza, J., González, Y., Doria Oviedo, M., Pedroza, Á., & Ruiz, A. (2020). Fabricación de biocombustibles sólidos densificados

- (briquetas) a base de serrín de acacia y estiércol de bovinos en el departamento de Córdoba. *INGENIARE - Revista Chilena de Ingeniería*, 28(3), 448–460. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7646398>
- Morales, M., Ruíz, V., Rutiaga, J., & López, L. B. (2025). Design and Implementation of a Low-Pressure Briquetting Machine for the Use of Pinus spp. Wood Residues: An Approach to Appropriate Rural Technology. *Clean Technologies*, 7(1), 22. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol7010022>
- Niño, A. (2019). *Caracterización de propiedades físicas y mecánicas de briquetas de biomasa de aserrín de pino y cascarilla de arroz*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77549/1015440804.2020.pdf>
- Pino, E., Tacora, P., Steenken, A., Valle, A., Chávarri, E., Ascencios, D., & Mejía, J. (2017). Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Caplina, Tacna, Perú. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(6), 77-99. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-06>
- Ramírez, F. y Vargas F. (2014). Potencial de Energía Calorífica de los Residuos Sólidos. Cartagena: TEKNOS. <https://www.revistas-tecnologicocomfenalco.info/index.php/teknos/article/view/467>
- SINIA. (2015). Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/fiscalizacion-ambiental-residuos-solidos-gestion-municipal>
- Rodríguez, Y., Segura, S., Segura, J., & Rodríguez, C. (2025). Producción de briquetas de residuos de polvo de coque como combustible alternativo para la industria. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 35(1), 71-86. <https://doi.org/10.18359/rcin.7475>
- Sun Y, Cheng J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresour Technol*. 2002 May;83(1):1-11. [http://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00212-7](http://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7)
- Urbina, J. (2023). *Elaboración de briquetas a partir de residuos de madera del IDIT (Instituto de Diseño e Investigación y Tecnología)*. Universidad Iberoamericana Puebla Repositorio Institucional.
- Vivanco, D., Sánchez, Y., & Mariño, M. (2021). Fabricación de briquetas con aserrín y papel reciclado. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/2091/1623>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Alejandro Rayder Aarón Gonzáles Maquera.

