

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

EFICIENCIA ENERGÉTICA DE BRIQUETAS ELABORADAS A PARTIR
DE ESTIÉRCOL DE CUY (*Cavia porcellus*) Y RESIDUOS DE PODA
DE OLIVO (*Olea europaea*) EN SAMA LAS YARAS, TACNA – 2025

TESIS

Presentada por:

Bach. Nicolle Fernanda Paredes Ureta

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería ambiental

TESIS

EFICIENCIA ENERGÉTICA DE BRIQUETAS ELABORADAS A PARTIR DE
ESTIÉRCOL DE CUY (*Cavia porcellus*) Y RESIDUOS DE PODA DE OLIVO
(*Olea europaea*) EN SAMA LAS YARAS, TACNA – 2025

SUSTENTADA Y APROBADA EL 30 DE MARZO DEL 2026, SIENDO EL JURADO
CALIFICADOR:

PRESIDENTE:


.....
Dr. Hugo Alfredo Torres Muro

SECRETARIO:


.....
Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

VOCAL:


.....
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

ASESOR:


.....
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Edgar Chaparro Aguilar, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 9394-2024-FCAG de la tesis titulada: "EFICIENCIA ENERGETICA DE BRIQUETAS ELABORADAS A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE CUY (*Cavia porcellus*) Y RESIDUOS DE PODA DE OLIVO (*Olea europaea*) EN SAMA LAS YARAS, TACNA – 2025". Presentada por la Bachiller Nicolle Fernanda Paredes Ureta, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual considerando que, según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Turnitin cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es del 4 %. Por lo que, CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda consiguiendo la publicación en el repositorio institucional.

FIRMA ASESOR
Nombres y Apellidos, DNI
Dr. EDGAR CHAPARRO
AGUILAR


40206961



FIRMA TESISTA
Nombres y Apellidos, DNI
Nicolle Fernanda
Paredes Ureta


70286811



DEDICATORIA

La presente tesis dedico a mi familia, por ser el pilar fundamental de mi formación personal y académica. Su apoyo constante, comprensión y confianza en cada etapa de este proceso han sido determinantes para alcanzar este logro.

Asimismo, dedico a todas aquellas personas que, de una u otra manera, creyeron en mis capacidades incluso en los momentos de mayor dificultad, recordándome que la constancia y el esfuerzo diario permiten avanzar aun cuando el camino parece incierto.

De manera muy especial, dedico esta tesis a mi perrita Tes, quien ahora está en el cielo, y que me acompañó silenciosamente durante este proceso.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a mis docentes, por la orientación técnica, el acompañamiento académico y los conocimientos brindados durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Asimismo, agradezco a mis compañeros y amistades, quienes brindaron apoyo moral, comprensión y palabras de aliento a lo largo de este proceso, haciendo más llevadero el esfuerzo requerido.

Finalmente, la idea expresada en Haikyuu con la frase *“Cuanto más alto sea el muro, más satisfacción sentirás al superarlo”* cobra especial significado en esta etapa, ya que culminar este trabajo de investigación no solo representa el logro de un objetivo académico, sino también la recompensa a la constancia, el esfuerzo sostenido y la determinación de no rendirse hasta alcanzar la meta.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	Planteamiento del problema.....	4
1.2	Formulación y sistematización del problema.....	6
1.2.1	Problema general.....	6
1.2.1	Problemas específicos.....	7
1.3	Delimitación de la investigación.....	7
1.3.1	Delimitación temporal.....	7
1.3.2	Delimitación espacial.....	7
1.3.3	Delimitación teórica.....	8

1.4	Justificación de la investigación.....	8
1.4.1	Justificación social.....	8
1.4.2	Justificación académica.....	9
1.4.3	Justificación económica.....	9
1.4.4	Justificación ambiental.....	9
1.5	Limitaciones.....	9

CAPÍTULO II: OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1	Objetivos.....	11
2.1.1	Objetivo general.....	11
2.1.2	Objetivos específicos.....	11
2.2	Hipótesis.....	12
2.2.1	Hipótesis general.....	12
2.2.2	Hipótesis específicas.....	12
2.3	Variables.....	13
2.3.1	Diagrama de variables.....	13
2.3.2	Indicadores de variables.....	15
2.3.2.1	Variable independiente.....	15
2.3.2.2	Variable dependiente.....	15
2.3.3	Operacionalización de las variables.....	15

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1	Antecedentes bibliográficos.....	17
3.1.1	Nivel internacional.....	17
3.1.2	Nivel nacional.....	23
3.1.3	Nivel local.....	27
3.2	Bases teóricas.....	29
3.2.1	Características fisicoquímicas y energéticas de briquetas.....	29
3.2.1.1	Normativa técnica colombiana (NTC) 2020 para la elaboración de briquetas.....	31
3.2.2	Proporción óptima de mezcla de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo en briquetas.....	33
3.2.2.1	Biomasa.....	34
3.2.3	Comportamiento térmico en la cocción de alimentos en briquetas.....	51
3.3	Definición de términos.....	52
3.3.1	Biomasa.....	52
3.3.2	Briquetas.....	53
3.3.3	Residuos de Poda de olivo.....	53
3.3.4	Estiércol de cuy.....	53
3.3.5	Aglutinante.....	54
3.3.6	Poder calorífico.....	54

3.3.7	Eficiencia energética.....	54
3.3.8	Cocción de alimentos.....	55

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1	Tipo y nivel de investigación.....	56
4.1.1	Tipo de investigación.....	56
4.1.2	Nivel de investigación.....	56
4.1.3	Diseño de investigación.....	57
4.2	Lugar de estudio.....	57
4.3	Población y muestra de estudio.....	58
4.3.1	Población.....	58
4.3.2	Muestra.....	58
4.4	Método.....	58
4.4.1	Técnica de recolección.....	58
4.4.2	Instrumentos de recolección.....	64
4.5	Procesamiento experimental.....	65
4.5.1	Determinación de las características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo.....	65
4.5.2	Determinación de la proporción óptima de briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo.....	70

4.5.3	Caracterización del comportamiento térmico en la cocción de alimentos de las briquetas.....	73
4.6	Materiales y equipos.....	74
4.6.1	Materiales.....	74
4.6.2	Equipos.....	75
4.7	Análisis estadístico.....	75

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	Resultados.....	79
5.1.1	Determinación de las características fisicoquímicas de briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo.....	79
5.1.2	Determinación de la proporción óptima de mezcla de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo que permita obtener briquetas con las mejores propiedades fisicoquímicas y energéticas.....	92
5.1.3	Caracterización del comportamiento térmico en la cocción de alimentos de las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo.....	103
5.2	Discusión de resultados.....	106

5.2.1	Discusión de las características fisicoquímicas de briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo.....	106
5.2.2	Discusión de la proporción óptima de mezcla de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo que permita obtener briquetas con las mejores propiedades fisicoquímicas y energéticas.....	117
5.2.3	Discusión de la caracterización del comportamiento térmico en la cocción de alimentos.....	126
	CONCLUSIONES.....	129
	RECOMENDACIONES.....	131
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132
	ANEXOS.....	147

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables.....	16
Tabla 2. Estadísticas del cultivo de olivo en Tacna 2018.....	36
Tabla 3. Características de los residuos del olivar.....	37
Tabla 4. Composición del residuo de poda de olivo.....	38
Tabla 5. Composición fibrosa de los restos de poda del olivo.....	39
Tabla 6. Análisis bioquímico de la poda de olivo.....	40
Tabla 7. Distribución de cuyes a nivel provincial y distrital.....	43
Tabla 8. Contenido de humedad y minerales según estiércol del animal.....	44
Tabla 9. Propiedades fisicoquímicas del estiércol de cuy.....	45
Tabla 10. Niveles de los factores para la investigación.....	57
Tabla 11. Tratamientos y repeticiones para el experimento	57
Tabla 12. Características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas.....	81
Tabla 13. Análisis de varianza de la densidad para los tratamientos de las briquetas	83
Tabla 14. Prueba de rango múltiple de Tuckey ($p < 0,05$) para la densidad de las briquetas.....	84
Tabla 15. Análisis de varianza del contenido de humedad para los tratamientos de las briquetas elaboradas	86

Tabla 16.	Prueba de rango múltiple de Tuckey ($p < 0,05$) para el contenido de humedad de las briquetas.....	86
Tabla 17.	Análisis de varianza del Índice de friabilidad para los tratamientos de las briquetas elaboradas	88
Tabla 18.	Prueba de rango múltiple de Tuckey ($p < 0,05$) para el índice de friabilidad de las briquetas.....	89
Tabla 19.	Análisis de varianza del contenido de cenizas para los tratamientos de las briquetas elaboradas	91
Tabla 20.	Prueba de rango múltiple de Tuckey ($p < 0,05$) para el contenido de cenizas de las briquetas.....	92
Tabla 21.	Análisis de varianza del tiempo de encendido en minutos para los tratamientos de las briquetas elaboradas	94
Tabla 22.	Prueba de rango múltiple de Tuckey ($p < 0,05$) para el tiempo de encendido de las briquetas.....	94
Tabla 23.	Análisis de varianza del tiempo de combustión en minutos para los tratamientos de las briquetas elaboradas.....	96
Tabla 24.	Prueba de rango múltiple de Tuckey ($p < 0,05$) para el tiempo de combustión de las briquetas.....	97
Tabla 25.	Análisis de varianza de la velocidad de combustión en minutos para los tratamientos de las briquetas elaboradas.....	99

Tabla 26.	Prueba de rango múltiple de Tuckey ($p < 0,05$) para la velocidad de combustión de las briquetas.....	99
Tabla 27.	Prueba de kruskal-Wallis para el poder calorífico de las briquetas.....	101
Tabla 28.	Prueba U de Mann-Whitney para el tiempo de cocción entre las briquetas realizadas y la leña de chañar.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de flujo de las variables.....	14
Figura 2. Fuentes de energía según los tipos de biomasa.....	34
Figura 3. Cantidad de producción de aceituna en el mundo del año 1994 al 2017.....	35
Figura 4. Constitución típica del olivo.....	38
Figura 5. Evolución de la población de cuyes en el país, 2016- 2021 (Miles).....	42
Figura 6. Eficiencia energética de distintos tipos de briquetas.....	46
Figura 7. Tipos de briquetas de diferentes fuentes.....	47
Figura 8. Tipos de briquetas más comunes.....	48
Figura 9. Diferentes formas para la elaboración de briquetas.....	49
Figura 10. Molde casero de madera y mazo para la fabricación de las briquetas.....	68
Figura 11. Procedimiento a realizar para las briquetas de la presente investigación.....	69
Figura 12. Estufa casera para las pruebas experimentales con las briquetas elaboradas.....	73
Figura 13. Densidad de las briquetas en los 7 tratamientos.....	82

Figura 14.	Contenido de humedad de las briquetas en los 7 tratamientos	85
Figura 15.	Índice de friabilidad de las briquetas en los 7 tratamientos	87
Figura 16.	Contenido de ceniza de las briquetas en los 7 tratamientos.....	90
Figura 17.	Tiempo de encendido en minutos de las briquetas en los 7 tratamientos.....	93
Figura 18.	Tiempo de combustión en minutos de las briquetas en los 7 tratamientos	95
Figura 19.	Velocidad de combustión en minutos de las briquetas en los 7 tratamientos	98
Figura 20.	Poder calorífico de las briquetas en los 7 tratamientos.....	100
Figura 21.	Tiempo de cocción del alimento seleccionado frente a las briquetas y la leña de chañar	104
Figura 22.	Diagrama de cajas y bigotes del tiempo de cocción del alimento seleccionado frente a las briquetas y la leña de chanar	106

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	147
Anexo 2. Lugar de ubicación del estudio a investigar.....	149
Anexo 3. Panel fotográfico de la recolección de las muestras.....	150
Anexo 4. Panel fotográfico del proceso de molienda para la fabricación de briquetas.....	151
Anexo 5. Panel fotográfico de la obtención del almidón de papa.....	153
Anexo 6. Panel fotográfico del proceso de mezclado de las briquetas.....	154
Anexo 7. Panel fotográfico de las briquetas en proceso de secado.....	155
Anexo 8. Panel fotográfico de las briquetas secas.....	156
Anexo 9. Panel fotográfico de los análisis fisicoquímicos de las briquetas elaboradas.....	157
Anexo 10. Panel fotográfico del uso de la leña de chañar para comparación.....	159
Anexo 11. Resultado de la densidad de las briquetas elaboradas.....	160
Anexo 12. Resultado del IFR de las briquetas elaboradas.....	160
Anexo 13. Resultado del contenido de humedad de las briquetas elaboradas.....	161

Anexo 14.	Resultado del contenido de ceniza de las briquetas elaboradas.....	161
Anexo 15.	Resultado del tiempo de encendido de las briquetas elaboradas.....	162
Anexo 16.	Resultado del tiempo de combustión de las briquetas elaboradas.....	162
Anexo 17.	Resultado de la velocidad de combustión de las briquetas elaboradas.....	163
Anexo 18.	Poder calorífico de las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y poda de olivo.....	163
Anexo 19.	Resultado del tiempo de cocción de una papa utilizando las briquetas elaboradas vs la leña de chañar.....	164

RESUMEN

La investigación tuvo como finalidad la evaluación de la eficiencia energética de briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) y residuos de poda de olivo (*Olea europaea*) en Sama Las Yaras. Su metodología consistió en la elaboración de briquetas en base a estiércol de cuy y residuos de poda de olivo con almidón de papa como aglutinante y aserrín como aditivo. Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) con 7 tratamientos; se analizó la influencia de las proporciones de estiércol de cuy, poda de olivo, almidón de papa y aserrín, con el objetivo de identificar la mezcla más eficiente que permita obtener briquetas con las mejores propiedades fisicoquímicas y energéticas. La caracterización incluyó parámetros como contenido de humedad, cenizas, friabilidad, poder calorífico y comportamiento durante la combustión, además de pruebas térmicas mediante el ensayo de ebullición de agua en comparación con la leña tradicional. Los resultados evidenciaron que las proporciones óptimas de los tratamientos T1, T5 y T6 presentaron los mejores desempeños; siendo el T6 conformado por 40g de estiércol de cuy, 108g de residuos de poda de olivo, 13g de almidón de papa y 34g de aserrín, el más efectivo en función a sus propiedades fisicoquímicas y energéticas, con un poder calorífico de hasta 4 764,61 kcal/kg. En conclusión, los hallazgos demuestran que la producción de briquetas a partir de estos residuos constituye una alternativa viable para el aprovechamiento energético de biomasa residual y el fortalecimiento de la seguridad energética local.

Palabras clave: Briquetas, estiércol de cuy; eficiencia energética, residuos de poda de olivo.

ABSTRACT

The research aimed to evaluate the energy efficiency of briquettes made from guinea pig (*Cavia porcellus*) manure and olive (*Olea europaea*) pruning waste in Sama Las Yaras. The methodology involved preparing briquettes using guinea pig manure and olive pruning waste with potato starch as a binder and sawdust as an additive. A completely randomized design (CRD) with seven treatments was applied. The influence of the proportions of guinea pig manure, olive pruning waste, potato starch, and sawdust was analyzed to identify the most efficient mixture that would produce briquettes with the best physicochemical and energy properties. Characterization included parameters such as moisture content, ash content, friability, calorific value, and combustion behavior, as well as thermal tests using the water boiling test compared to traditional firewood. The results showed that the optimal proportions of treatments T1, T5, and T6 exhibited the best performance. Treatment T6, consisting of 40g of guinea pig manure, 108g of olive pruning waste, 13g of potato starch, and 34g of sawdust, was the most effective based on its physicochemical and energetic properties, with a calorific value of up to 4 764,61 kcal/kg. In conclusion, the findings demonstrate that briquette production from these residues constitutes a viable alternative for the energy utilization of residual biomass and the strengthening of local energy security.

Keywords: Briquettes, guinea pig manure; energy efficiency, olive pruning waste.

INTRODUCCIÓN

La elaboración de briquetas usando biomásicos constituye una opción tecnológica con ventajas ambientales frente al uso de combustibles convencionales. Estas briquetas corresponden a biocombustibles sólidos densificados, producidos a partir de la compactación de residuos de origen agrícola, forestal o agroindustrial, lo que mejora su manejabilidad, almacenamiento y poder calorífico por unidad de volumen, además de facilitar su transporte y uso doméstico e industrial (FAO, 2014; Karunanithy et al., 2012).

La adopción de briquetas contribuye disminuir la demanda directa sobre los recursos forestales y a mitigar emisiones cuando reemplazan leña y combustibles fósiles; diversos estudios han documentado que los combustibles densificados derivados de biomasa presentan un desempeño energético adecuado para cocción y calefacción en comunidades rurales, siempre que se optimicen sus propiedades físico-químicas (contenido de humedad, densidad, cenizas y resistencia mecánica) y las condiciones de prensado y secado (Dinesha et al., 2019; Karunanithy et al., 2012).

La caracterización físico-química de las briquetas es, por tanto, un paso crítico para garantizar su viabilidad operativa: el porcentaje de humedad presente condiciona el proceso de encendido y el rendimiento energético del combustible; la densidad y la friabilidad condicionan la resistencia al manejo y almacenamiento; y el contenido de cenizas afecta tanto el rendimiento térmico como los residuos

poscombustión (Karunanithy et al., 2012; Dinesha et al., 2019). Asimismo, estudios específicos sobre biomasa de olivo han evidenciado el elevado potencial energético de la poda y otros subproductos del cultivo del olivar, así como la necesidad de ajustar procesos de pretratamiento para mejorar el poder calorífico y reducir emisiones en briquetas producidas con este tipo de residuos (García et al., 2020).

Para evaluar el comportamiento térmico en condiciones de cocción y comparar combustibles, es apropiado emplear protocolos normalizados que simulen procesos domésticos. El Water Boiling Test (WBT) y otras herramientas estandarizadas han sido empleadas ampliamente para valorar la transferencia de energía desde el combustible hacia el recipiente y comparar eficiencia y tiempos de cocción entre combustibles y estufas.

En el ámbito regional del distrito de Sama, donde se dispone de estiércol de cuy y residuos provenientes de la poda del olivo, el aprovechamiento energético de dichos materiales mediante su conversión en briquetas ofrece una alternativa de valorización energética con potencial de impacto social y ambiental positivo. En ese sentido, la presente investigación propone evaluar la eficiencia energética de briquetas elaboradas a partir de estiércol del cuy (*Cavia porcellus*) y poda de olivo (*Olea europaea*) en Sama, Las Yaras - Tacna.

Los objetivos específicos son: Determinar las características fisicoquímicas y energéticas de briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) y residuos de poda de olivo (*Olea europaea*), así como determinar la proporción óptima de mezcla entre estiércol de cuy y residuos de poda de olivo que permita obtener briquetas con las mejores propiedades fisicoquímicas y caracterizar el comportamiento térmico en la cocción de alimentos de las briquetas elaboradas a partir del estiércol de cuy y poda de olivo.

El presente trabajo de investigación se encuentra dividido en los siguientes capítulos: En el capítulo I se aborda el planteamiento y definición del problema, formulación y sistematización del problema, delimitación de la investigación, justificación y limitación del estudio. El capítulo II comprende los objetivos e hipótesis y variables. El capítulo III comprende el marco teórico y conceptual que contempla los antecedentes del estudio, bases teóricas y definición de términos. El capítulo IV contempla la metodología de la investigación. El capítulo V se centra en los resultados y en la discusión de los resultados de otras investigaciones; culmina con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos correspondientes.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, se reconoce que los países en desarrollo enfrentan una creciente demanda energética debido al cambio climático. Dichos países, producen elevadas cantidades de desechos agrícolas y sólidos (Chávez y Rodríguez, 2016). Entre estos residuos destacan el estiércol de cuy y los restos provenientes de la poda del olivo son subproductos comunes en las actividades agropecuarias.

Tacna es una región productora de olivos, desarrollada principalmente en sectores agrícolas como Sama y la Yarada, donde la actividad se concentra de manera significativa (León et al., 2021). Además, cuenta con una diversidad pecuaria, siendo relevante la crianza de cuyes, especie que representa un recurso económico significativo a nivel nacional, especialmente bajo esquemas de producción de carácter familiar (Ortiz-Oblitas et al., 2021). A pesar de que estas actividades son fundamentales para la economía local, los residuos que generan no son aprovechados de forma alguna. Se acumulan sin una gestión adecuada, situación que genera efectos adversos sobre el ambiente, así como riesgos para la salud de las personas (Cunuruna, 2023), lo que representa una pérdida de recursos valiosos con potencial energético.

Por un lado, las emisiones generadas por las barbacoas domésticas y las parrillas de carbón utilizadas en los restaurantes tienen un impacto considerable en la emisión de contaminantes atmosféricos derivada de la combustión inadecuada de residuos orgánicos. Estas contribuyen al deterioro de la calidad del aire, lo cual constituye un factor de riesgo relevante para la salud de las personas que habitan o desarrollan actividades en zonas cercanas a los puntos de quema (Mencarelli et al., 2023).

Asimismo, tanto el estiércol como los residuos de poda suelen ser percibidos como materiales sin valor, lo que propicia su acumulación y favorece la liberación de gases de efecto invernadero, principalmente metano, durante su descomposición natural (García et al., 2020). A ello se suma que los residuos de poda, en muchos casos, son eliminados mediante quema a cielo abierto o abandono en áreas agrícolas, prácticas que incrementan los riesgos de contaminación ambiental y la proliferación de plagas (Cunuruna, 2023).

Frente a esta problemática, en los últimos años se ha intensificado la investigación orientada al desarrollo de tecnologías basadas en recursos renovables que puedan ser aprovechados de manera eficiente y sostenible.

Diversos estudios han demostrado que una proporción significativa de la biomasa residual presenta un elevado potencial energético, susceptible de

ser utilizado en la generación de energía térmica o eléctrico (Cartagena et al., 2023). Sin embargo, las estrategias más eficientes para su aprovechamiento consisten en la producción de briquetas, las cuales pueden constituir una opción energética viable para reemplazar el uso del carbón vegetal y la leña convencional (Huaytalla, 2019). En la región de Tacna este potencial aún no ha sido explorado a fondo, lo que limita las oportunidades para disminuir el consumo de combustibles fósiles y fortalecer la sostenibilidad energética local (Tomita et al., 2022).

Resulta crucial investigar estos aspectos para establecer un modelo de gestión de residuos que genere beneficios tanto ambientales como sociales. Además, la presente investigación busca contribuir al establecimiento de un esquema de aprovechamiento de residuos que permita mitigar impactos ambientales y, simultáneamente, promover el uso eficiente de los recursos disponibles en la región, generando beneficios económicos y ambientales para las comunidades locales.

1.2 Formulación y sistematización del problema

1.2.1 Problema general

¿Qué factores determinan la eficiencia energética de briquetas elaboradas a partir del estiércol de cuy y residuos de poda de olivo en Sama, Las Yaras - Tacna?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué características fisicoquímicas presenta las briquetas elaboradas con estiércol de cuy y residuos de poda de olivo en Sama, Las Yaras - Tacna?
- ¿Qué proporción de mezcla entre estiércol de cuy y residuos de poda de olivo permite obtener briquetas con las mejores propiedades fisicoquímicas y energéticas en Sama, Las Yaras - Tacna?
- ¿Cuáles son las características térmicas de las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo en el proceso de cocción de alimentos?

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Delimitación temporal

La elaboración de las briquetas se desarrolló durante el periodo comprendido entre junio y diciembre de 2025.

1.3.2 Delimitación espacial

Las actividades del estudio se ejecutaron en el departamento de Tacna, específicamente en la provincia de Tacna, distrito de Sama.

1.3.3 Delimitación teórica

El trabajo se centra en el aprovechamiento del estiércol de cuy y de los residuos de poda de olivo generados en el distrito de Sama Las Yaras para su valorización mediante briquetas.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación social

En el ámbito social, esta investigación favorece a las comunidades del distrito de Sama al promover una alternativa energética de origen renovable y de menor costo. De esta manera, se aportan condiciones que pueden mejorar la calidad de vida, principalmente en zonas donde el suministro de energía es escaso, difícil de acceder o económicamente elevado. Finalmente, la propuesta impulsa hábitos responsables con el ambiente y fortalece acciones sostenibles en la población, incentivando la organización y el involucramiento comunitario en la gestión de residuos sólidos.

1.4.2 Justificación académica

En términos académicos, la investigación aporta al desarrollo de la bioenergía al evaluar la factibilidad de emplear recursos energéticos no convencionales provenientes de biomasa residual, como el estiércol de cuy y la poda de olivo. En suma, los resultados permitirán establecer bases para futuros estudios del uso de biomasa, además de generar conocimientos aplicables en otras regiones con condiciones agropecuarias similares.

1.4.3 Justificación económica

Desde el enfoque económico, la propuesta se presenta como una alternativa factible para las poblaciones rurales, al proporcionar una fuente de energía térmica de menor costo. De igual manera, la sustitución parcial de la leña y de los combustibles fósiles disminuye los gastos energéticos familiares y agrícolas. A ello se suma que el uso de residuos que normalmente se descartan permite aprovechar recursos disponibles en la zona, fortaleciendo la economía local.

1.4.4 Justificación ambiental

En el plano ambiental, el estudio busca reducir la acumulación de residuos agropecuarios que son desechados sin un uso adecuado; esta iniciativa ayuda a disminuir la contaminación del suelo, y promueve un enfoque de aprovechamiento circular, orientado a la sostenibilidad y al cuidado de los recursos naturales en la provincia de Tacna.

1.5 Limitaciones

La investigación plantea la obtención de un biocombustible renovable a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo en Sama Las Yaras (Tacna), promoviendo un manejo más responsable de los residuos y generando beneficios ambientales, económicos y sociales.

Sin embargo, la disponibilidad de los materiales y las condiciones climáticas (por ejemplo, temperatura y precipitaciones) podrían afectar la producción de energía calorífica, así como la necesidad de recursos financieros iniciales para la implementación del sistema.

Es importante señalar que la presente investigación está restringida a la evaluación de aspectos específicos relacionados con la eficiencia energética y determinadas propiedades fisicoquímicas de las briquetas obtenidas, sin considerar otros factores fuera de los objetivos establecidos.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Evaluar la eficiencia energética de briquetas elaboradas a partir de estiércol del cuy (*Cavia porcellus*) y residuos de poda de olivo (*Olea europaea*) en Sama, Las Yaras - Tacna.

2.1.2 Objetivos específicos

Determinar las características fisicoquímicas de briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo.

Determinar la proporción óptima de mezcla entre estiércol de cuy y residuos de poda de olivo que permita obtener briquetas con las mejores propiedades fisicoquímicas y energéticas.

Caracterizar el comportamiento térmico en la cocción de alimentos de las briquetas elaboradas a partir del estiércol de cuy y residuos de poda de olivo.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

Si se evalúan las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) y residuos de poda de olivo (*Olea europaea*), entonces se determina la eficiencia energética de estas como fuente de energía.

2.2.2 Hipótesis específicas

Las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo presentan buenas características fisicoquímicas y energéticas.

Existen proporciones óptimas de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo que permiten obtener briquetas con mejores propiedades fisicoquímicas y energéticas.

El uso de briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo reduce el tiempo de cocción de los alimentos en comparación con el uso de combustibles tradicionales.

2.3 Variables

2.3.1 Diagrama de variables

En la Figura 1 se presenta el diagrama que organiza y relaciona las variables consideradas en el desarrollo de la investigación.

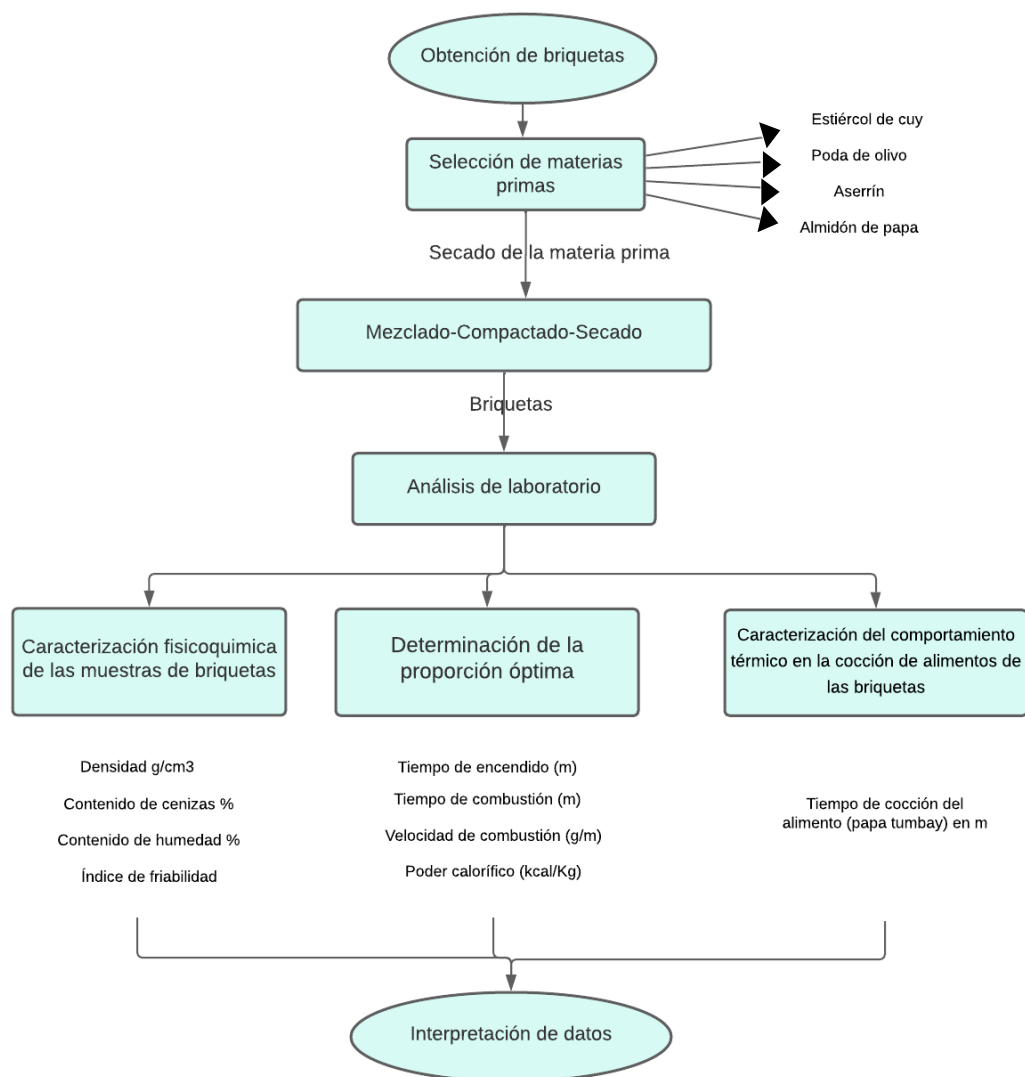


Figura 1

Diagrama de flujo de las variables

2.3.2 Indicadores de variables

2.3.2.1 Variable independiente

Las variables independientes fueron: estiércol de cuy, residuos de poda de olivo, almidón y aserrín.

2.3.2.2 Variable dependiente

Las variables dependientes fueron: características fisicoquímicas de las briquetas, características energéticas de las briquetas y tiempo de cocción del alimento.

2.3.3 Operacionalización de las variables

En la Tabla 1 se detallan las variables del estudio y los criterios utilizados para su operacionalización en la tesis.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad
Variables independientes:			
X1 = Estiércol de cuy	Cantidad utilizada en gramos de la mezcla	Proporción de la muestra	g
X2 = Residuos de poda de olivo	Cantidad utilizada en gramos de la mezcla	Proporción de la muestra	g
X3 = Almidón de papa	Cantidad utilizada en gramos como aglutinante	Proporción de la muestra	g
X4 = Aserrín	Cantidad utilizada en gramos como aditivo	Proporción de la muestra	g
Variables dependientes:			
Y1 = Características fisicoquímicas de las briquetas	Cantidad, componentes fisicoquímicas	Contenido de humedad	%
		Contenido de cenizas	%
		Índice de friabilidad	-
Y2 = Características energéticas de las briquetas	Cantidad, componentes energéticas	Poder calorífico	Kcal/kg
		Tiempo de combustión	minutos
		Tiempo de encendido	
		Velocidad de combustión	
Y3= Tiempo de cocción del alimento	Cantidad, componente energético	Tiempo de cocción	minutos

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes bibliográficos

3.1.1 Nivel internacional

Boutros y Bernard (2016) en su investigación “Determinación de las propiedades físicas y químicas de residuos de encina y olivo para la producción de briquetas” desarrollaron una investigación en el Líbano, orientada a analizar distintos residuos como insumos para elaborar briquetas con fines energéticos. En su investigación, midieron parámetros como la humedad, el contenido de cenizas, la densidad de partículas y la densidad aparente. Los resultados mostraron valores óptimos en los residuos de poda de aceituna, con un porcentaje de humedad del 26,79 % y un porcentaje de cenizas del 5,39 %, así como en los de poda de encina, con una humedad del 31,44 % y cenizas del 7,06 %. A partir de estos hallazgos, concluyeron que dichos residuos poseen propiedades adecuadas para la fabricación de briquetas.

Fonseca y Tierra (2011) en su investigación titulada: “Desarrollo de un Proceso Tecnológico para la Obtención de Briquetas de Aserrín de Madera y Cascarilla de Arroz, y Pruebas de Producción de Gas Pobre”, realizaron pruebas utilizando diversas proporciones de biomasa y aglutinantes. En sus resultados, hallaron el índice de friabilidad mediante una prueba de impacto contra el piso y el poder calorífico empleando una

bomba calorimétrica. Como resultado, reportaron dos formulaciones con mejor desempeño: (i) 10 % de cola blanca y 90 % de aserrín, con un poder calorífico de 28,41 MJ/kg; y (ii) 4 % de almidón de yuca y 96 % de cascarilla de arroz, con un poder calorífico de 16,92 MJ/kg. Además, todas las mezclas mostraron un índice de friabilidad de 1.

Gallipoliti et al. (2012) en su estudio titulado: "Fabricación De Briquetas Con Aserrin Blanco De Pino" elaboraron 24 briquetas utilizando como insumo principal aserrín de pino. La formulación empleada se preparó con una proporción aproximada de 500 ml de aserrín, 300 ml de almidón y agua como medio de mezcla, obteniendo briquetas de hasta 4 289,4 Kcal/kg, las cuales presentaron una apariencia satisfactoria.

Sánchez y Pasache (2013) en su investigación "Análisis de caso de estudio del uso de briquetas de aserrín en familias que usan leña y carbón en la zona de Piura y Sullana - Perú", elaboraron briquetas a partir de aserrín y aplicaron una evaluación de aceptación en 127 hogares de bajos recursos. Los resultados mostraron que las briquetas tenían un poder calorífico de 4 728 Kcal/kg, un porcentaje de humedad del 10 % y una densidad aparente de 894 kg/m³. Además, el 98 % de los participantes mostró intención de reemplazar la leña con briquetas debido a su superioridad en poder calorífico y densidad. Se evidenciaron mejores condiciones de bienestar en las familias, asociadas a la reducción del

humo generado y a una menor presencia de residuos de ceniza durante el proceso de combustión.

López et al. (2016) en su investigación titulada “Evaluación de los parámetros físicos y químicos de las briquetas obtenidas con la máquina briquetadora construida en FAREM-Estelí” utilizó la prueba de ebullición de agua, donde midió el tiempo necesario para alcanzar el punto de ebullición de 1 litro de agua. Los resultados mostraron que las briquetas fabricadas con una mezcla de 50 % aserrín fino y 50 % cascarilla de café presentaron el mejor desempeño térmico, alcanzando el tiempo de ebullición en 15 minutos, lo que fue significativamente más rápido que otras mezclas. Además, la velocidad de combustión de estas briquetas fue de 0,12 g/min, lo que indica una combustión eficiente. La eficiencia térmica de estas briquetas alcanzó el 92 %, un valor considerablemente alto en comparación con la leña, que presentó una eficiencia térmica de entre 45 % y 63 %; el consumo específico de combustible para estas briquetas fue de 0,08 kg/min, lo que indica un menor consumo por unidad de energía generada en comparación con otros combustibles tradicionales.

Cuevas et al. (2019) en su investigación titulada “Cinética de secado y difusividades efectivas de agua en hueso de aceituna y poda de olivo” determinó que la poda de olivo y el hueso de aceituna presentan una capacidad relevante para su aprovechamiento, además la poda de olivo

presentó coeficiente de difusión efectiva del agua en el rango de $3,41 \times 10^{-8}$ a $32,5 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ al aplicar diferentes temperaturas y espesores de muestra. Los resultados mostraron que el hueso de aceituna tiene un poder calorífico superior de 18,8 MJ/kg, mientras que la poda de olivo presentó 17,4 MJ/kg.

Mendoza et al. (2020) en su investigación titulada “Fabricación de biocombustibles sólidos densificados (briquetas) a base de serrín de acacia y estiércol de bovinos en el departamento de Córdoba”, evaluaron el comportamiento térmico de briquetas elaboradas con diferentes proporciones de dichos residuos, utilizando como parámetros el poder calorífico, duración requerida para iniciar la ignición, duración de la quema, y velocidad de combustión. En este estudio, se determinó que las briquetas con 60 % de estiércol y 40 % de serrín presentaron un poder calorífico de 13,6 kJ/kg y una eficiencia térmica del 58,4 %; resultando ser la mezcla más eficiente en términos de rendimiento energético. En cuanto al tiempo de combustión, las briquetas con mayor contenido de estiércol, específicamente las que contenían 80 % de estiércol y 20 % de serrín, presentaron un tiempo de combustión más prolongado debido a la menor liberación de energía, ya que el estiércol libera calor más lentamente en comparación con el aserrín.

Murcia y González (2020) en su investigación titulada "Desarrollo de briquetas de borra de café y un aglomerante a diferentes composiciones porcentuales para ser utilizadas como combustible sólido alternativo", evaluaron la producción de briquetas a partir de borra de café y aserrín, con el objetivo de sustituir combustibles de uso común como leña y carbón vegetal. En el estudio, se utilizaron diferentes composiciones de borra de café (70 %) y aserrín (30 %) en combinación con el aglutinante de almidón de yuca en proporciones del 10 %. A través de un diseño experimental, se formularon diez briquetas con distintas proporciones de estos materiales, y se evaluaron sus propiedades fisicoquímicas. Las briquetas compuestas por 70 % de borra de café y 30 % de aserrín presentaron un poder calorífico de 18,01 MJ/kg, lo que las posicionó como una alternativa energética viable. La briqueta número 2, que obtuvo el mejor rendimiento, mostró un porcentaje de humedad del 12,5 % y un porcentaje de cenizas de 5 %.

Bastidas-Barranco et al. (2022) en su investigación titulada "Producción de briquetas a partir de raquis residual de la palma africana para las comunidades alfareras del norte del Cesar, Colombia", analizaron las propiedades térmicas de briquetas elaboradas a partir de residuos de palma africana, con el objetivo de evaluar su potencial como combustible alternativo a la leña en procesos de cocción. En su estudio, se realizaron pruebas térmicas comparando el rendimiento de las briquetas de raquis de palma con la leña nativa. Se encontró que las briquetas, al ser sometidas

a un proceso de secado y compactación, presentaron un poder calorífico de 17 533 kJ/kg. La eficiencia de combustión fue evaluada mediante el análisis de la cantidad de calor entregado al calentar un litro de agua, y los resultados indicaron que tanto las briquetas como la leña tenían rendimientos energéticos similares, con una eficiencia del 4,46 % para las briquetas y 4,35 % para la leña nativa.

Pantoja (2024) en su tesis “Aprovechamiento de residuos de poda de la universidad autónoma de occidente para la elaboración de briquetas como biocombustibles sólidos con aglomerantes de origen renovable” evaluó la fabricación de briquetas utilizando como materia prima los restos de poda producidos en la universidad, con el objetivo de desarrollar biocombustibles sólidos que cumplieran con los estándares de la norma NTC 2060. Los ensayos revelaron que las briquetas del tratamiento 1, compuestas por 50 % de aglomerante de aceite usado y cera; 50 % de residuos de poda, lograron un poder calorífico de 6 673,3 kcal/kg, con un porcentaje de cenizas menor al 10 % y sin generación de hollín, cumpliendo con las normativas para su uso como energía renovable.

Rodríguez et al. (2025) en su investigación titulada "Producción de briquetas de residuos de polvo de coque como combustible alternativo para la industria", analizaron las propiedades térmicas y de combustión de briquetas fabricadas usando residuos de polvo de coque, empleando como

aglutinante el almidón de maíz. En su estudio, evaluaron el poder calorífico, el intervalo de ignición, la tasa de combustión y el tiempo de ebullición utilizando briquetas fabricadas a partir de polvo de coque con distintas granulometrías. Los hallazgos evidenciaron que las briquetas con mayor porcentaje de polvo de coque (80 %) registraron un poder calorífico de 5 816 kcal/kg, con una temperatura de encendido de 700 °C, que es 90 °C superior que el coque comercial. En cuanto al tiempo de ebullición, las briquetas con una mezcla 80 % de polvo de coque y 20 % de almidón tuvieron un tiempo de 20 minutos para calentar un litro de agua, lo que demuestra su eficiencia térmica en la cocción. Además, las velocidades de combustión fueron de 0,13 g/min, lo que indica una buena liberación de energía y una combustión eficiente.

3.1.2 Nivel nacional

Valderrama et al. (2007) en su tesis titulada: “Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calorífica en cocinas no Convencionales, evaluaron el uso de residuos sólidos orgánicos (RSO) mezclados con estiércol de cuy y aserrín para la elaboración de briquetas, planteando que una mayor proporción de aserrín mejoraría el poder calorífico. Para ello, fabricaron tres tipos de briquetas con distintas proporciones de RSO, estiércol de cuy, cal, arcilla y aserrín, analizando su poder calorífico (kJ/kg), tiempo de combustión y generación de cenizas. La briqueta tipo 3, compuesta por 70 % de RSO, 20 % de estiércol de cuy y

10 % de aserrín, logró el mejor rendimiento con 13,826 kJ/kg y las briquetas con mayor proporción de aserrín presentaron un contenido de humedad de 8 % y una generación de cenizas de 8 %.

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022) en su proyecto titulado "Obtención de briquetas de carbón a partir de semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa*) y aserrín, en la empresa ECOTEC CONSULTORES S.A.C.", evaluaron las propiedades físico-químicas y térmicas de briquetas elaboradas con semillas de aguaje y aserrín. Los resultados indicaron que las briquetas fabricadas con una mezcla de estos materiales presentaron un poder calorífico de 16 874 J/g, un porcentaje de humedad del 15 %, un porcentaje de cenizas de 9,3 % y una densidad de 1,3 g/cm³. Los resultados mostraron que la proporción óptima para obtener un buen rendimiento térmico fue una mezcla de 80 % de semilla de aguaje y 20 % de aserrín.

Tejada et al. (2021) en su investigación titulada "Aprovechamiento del estiércol de alpaca e ichu para la producción de briquetas como fuente de energía calorífica en Arequipa", analizaron las características térmicas y físico-químicas de briquetas fabricadas con estiércol de alpaca e ichu. Se emplearon diferentes proporciones de estiércol (80 %), ichu (18 %) y cal (2 %). Los hallazgos indicaron que las briquetas elaboradas con 80 % de estiércol de alpaca presentaron un poder calorífico de 4 318,18 cal/g, con

un tiempo de combustión que alcanzó los 500°C en 16 minutos. El contenido de humedad fue de 10,9 %, mientras que el contenido de cenizas fue de 2,07 %. Además, las briquetas presentaron un valor de friabilidad de 166,7; lo que evidencia una adecuada tolerancia a golpes y una estructura sólida durante su manejo.

Cartagena et al. (2023) en su investigación “Evaluación del nivel de emisiones y poder calorífico en briquetas de residuos del olivar” evaluaron cuatro tratamientos con distintas proporciones de los componentes de hueso de aceituna, orujo, poda y aglutinante de papa, identificando que el tratamiento T4, formulado con 10 % de orujo, 70 % de poda, 10 % de pepa y 15 % de material aglomerante de almidón de papa, alcanzó el mayor poder calorífico con un valor de $5\,924,33 \pm 283,55$ kcal/kg.

Pinchi (2018) en su tesis titulada “Cuantificación de emisiones de gases en la combustión de briquetas elaboradas a base de residuos de aserrín de capirona, cascarilla de arroz y residuos sólidos orgánicos”, evaluó las características físico-químicas de las briquetas. En sus resultados, las briquetas presentaron un porcentaje de humedad promedio de 12,5%, una densidad de 0,85 g/cm³ y un contenido de cenizas de 5%. El estudio concluyó que el contenido de humedad y las cenizas afectan el

poder calorífico de las briquetas, que fue de 5 025,06 kcal/kg para las briquetas de aserrín y cascarilla de arroz.

Huaranga (2023) en su investigación titulada “Evaluación de propiedades físicas y energéticas de briquetas elaboradas con residuos orgánicos como alternativa de valorización energética, Lima Este” analizó el desempeño de briquetas producidas con mezclas de poda de césped y cáscara de naranja en distintas formulaciones. Los resultados mostraron que el poder calorífico osciló en un intervalo de 4 080,653 y 4 352,330 Kcal/Kg, destacándose el tratamiento T3 con el mayor valor (4 352,330 Kcal/Kg). De igual manera, la densidad aparente varió entre 0,42 y 0,74 g/cm³. Al comparar la eficiencia energética con la leña, el tratamiento T3 requirió el menor tiempo total (14 minutos, 27 segundos) para que 1 litro de agua alcance la ebullición, superando ligeramente a la leña (15 minutos, 09 segundos).

Belito et al. (2024) en su investigación titulada “Elaboración de biocombustibles (briquetas) a partir de residuos de madera de *Polylepis incana* (Queñual) en el distrito de Ahuaycha, Huancavelica” , evaluaron la fabricación de briquetas empleando 2 kg de aserrín, 0,25 kg de almidón de papa como material aglomerante y 1 L de agua. El proceso incluyó tamizado, mezclado manual y compactación mediante una briquetadora artesanal, dando briquetas de 50 g. En la caracterización físico-químico,

se determinó que las briquetas presentaron 18,01 % de humedad, 0,38 g/cm³ de densidad y 55,41 % de celulosa.

3.1.3 Nivel local

Cunuruna (2023) en su tesis “Propiedades físicas de briquetas elaboradas con residuos del olivo” evaluó el uso de poda de olivo y orujo de aceituna para fabricar briquetas energéticas, con la finalidad de determinar sus propiedades fisicoquímicas y energéticas. Bajo la hipótesis de que una mayor proporción de poda de olivo mejoraría el poder calorífico y las propiedades físicas, se formularon siete tratamientos. Se analizaron variables como poder calorífico (kcal/kg), friabilidad y velocidad de combustión, encontrando que la mezcla con 82 % de poda de olivo, 10 % de orujo de aceituna y 8 % de aglutinante alcanzó 5 709,46 kcal/kg, optimizando el rendimiento energético.

Falcón y Velarde (2022) en su investigación titulada “Efectos del pretratamiento de biomasa sobre poder calorífico y nivel de emisiones de briquetas de residuos del olivar y orégano” determinaron la influencia del pretratamiento de la biomasa residual en el poder calorífico y las emisiones de briquetas elaboradas con subproductos del olivar y orégano. Plantearon que el tratamiento previo de la biomasa proveniente del olivar influiría positivamente en la mejora del poder calorífico y la reducción de gases de

combustión. Para ello, emplearon una briqueteadora de acero equipada con un manómetro acoplado a una gata hidráulica y formularon 11 tratamientos con diferentes proporciones de pepa de aceituna, orujo, biomasa de poda y material aglomerante. Resultando que la proporción óptima correspondió a 5 % de hueso de aceituna, 5 % de orujo, 70 % de poda y 5 % de aglomerante, logrando un valor alto de 6 202,63 kcal/kg.

Mendoza et al. (2020) en su investigación “Fabricación de biocombustibles sólidos densificados (briquetas) a base de serrín de acacia y estiércol de bovinos en el departamento de Córdoba”, evaluaron las características físicas y químicas de briquetas producidas de residuos lignocelulósicos, específicamente aserrín y estiércol de bovino, con el fin de determinar su viabilidad como biocombustibles sólidos. Los resultados indicaron que las proporciones con mayor contenido de estiércol presentaron un porcentaje de humedad de 10,7 % y un porcentaje de cenizas del 2,07 %. La densidad promedio fue de 0,41 g/cm³, destacando la eficiencia de la mezcla de 60 % de estiércol y 40 % de aserrín, que favoreció la resistencia mecánica y la capacidad de combustión del biocombustible. Además, se observó que el índice de friabilidad fue relativamente bajo en las briquetas con mayor contenido de estiércol.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Características fisicoquímicas y energéticas de briquetas

Las propiedades de naturaleza fisicoquímica y energética constituyen un aspecto determinante para valorar la calidad de una briketa, debido a que una combustión adecuada se asocia con una mayor disponibilidad de energía térmica y con un mejor desempeño durante el proceso de quema del biocombustible (Arévalo, 2018).

- a) La definición de poder calorífico según Fernandez (s.f.), se entiende como la energía liberada durante la combustión por unidad de masa o de volumen del combustible. Dicha energía se manifiesta en forma de calor durante la quema. En el caso de la biomasa, este parámetro puede variar en función de factores como la especie de origen (por ejemplo, tipo de madera), la fracción del árbol empleada, la edad del material y su contenido de humedad.
- b) El nivel de humedad de la biomasa influye directamente en el proceso de densificación, así como en la estabilidad del producto final. Cuando la humedad es elevada, suele observarse una disminución de la densidad y de la consistencia de la briketa; además, la combustión puede verse afectada, ya que parte del calor se destina a evaporar el agua presente en el material. Por ello, el contenido de humedad depende del tipo de materia

prima utilizada y debe controlarse para optimizar la compactación y el rendimiento del biocombustible. Asimismo, un material con humedad muy baja puede requerir mayor energía durante el prensado, por lo que mantener niveles adecuados resulta relevante para la producción de briquetas (Dinesha et al., 2019).

- c) Las cenizas corresponden al residuo sólido que permanece tras la combustión. En la biomasa, su presencia se relaciona con compuestos minerales y sales que se encuentran asociados a la matriz carbonosa o incorporados como partículas inorgánicas. Se distinguen cenizas que permanecen como residuo depositado y otras que pueden arrastrarse o volatilizarse durante el proceso. El porcentaje de cenizas varía según el material: puede ser bajo (alrededor de 0,5 %) en algunas especies de madera, mientras que en cereales o residuos agroindustriales puede alcanzar valores cercanos al 20 % (Valiente, 2017).
- d) Según la Norma Técnica Colombiana NTC 2060, la friabilidad describe la facilidad con la que un material se desintegra ante esfuerzos mecánicos. En briquetas, esta variable es relevante debido a la manipulación y transporte frecuentes; por ello, a medida que la friabilidad aumenta, tiende a disminuir la resistencia frente a impactos (Cunuruna, 2023).

- e) Tiempo de encendido, es la duración que tarda el combustible en generar una combustión sostenible luego de ser expuesto a la fuente de calor (Tarka, 2023). El tiempo de ignición es crucial para determinar la eficiencia de la combustión de briquetas, donde los tiempos más cortos corresponden a briquetas con mayor facilidad de encendido (Fona, 2022).
- f) Tiempo de combustión se refiere al período total durante el cual la briketa sigue ardiendo de manera sostenible después de la ignición, puede variar significativamente dependiendo de la mezcla de biomasa, pero en promedio, las briquetas de buena calidad mantienen la combustión durante un período entre 10 y 60 minutos (Ramos, 2021).
- g) Velocidad de combustión es un indicador importante de la eficiencia del biocombustible, ya que refleja cuánta masa de la briketa se consume por minuto. Las briquetas con mayor contenido de carbono o compuestos volátiles tienden a mostrar una mayor velocidad de combustión (Fona, 2022).

3.2.1.1 Normativa técnica colombiana (NTC) 2060 para la elaboración de briquetas

De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 2060, las briquetas destinadas a uso doméstico deben cumplir requisitos mínimos

de calidad y seguridad para asegurar un desempeño adecuado durante su utilización.

Se establece que las briquetas deben presentar una dimensión mínima aproximada de 3 cm, además de permitir un encendido sencillo y un proceso de combustión estable y con baja generación de contaminantes. Asimismo, el producto no debe presentar deterioro durante su transporte y manipulación, ni bajo condiciones habituales de almacenamiento.

Por otro lado, la norma indica que parámetros como el tamaño, el poder calorífico y ciertas propiedades físicas deben mantenerse dentro de rangos controlados y con resultados uniformes entre lotes. En relación con el poder calorífico, se señala un intervalo de referencia entre 3 000 y 5 000 kcal/kg.

Respecto al aglutinante, se requiere que el material empleado posea capacidad aglomerante y, además, que su uso no provoque la liberación de gases tóxicos o irritantes por encima de los límites permitidos durante la combustión.

Finalmente, se menciona que el material de encendido debe permitir una ignición rápida sin emitir concentraciones elevadas de gases

nocivos, y no debe generar humo excesivo en el proceso (Cunuruna, 2023).

3.2.2 Proporción óptima de mezcla de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo de briquetas

La dosificación de los insumos empleados en la fabricación de una briqueta afecta de manera directa su poder calorífico, densidad, resistencia y el desempeño durante la combustión (Cartagena et al., 2023). En términos generales, las combinaciones de materiales orgánicos ricos en lignocelulosa, como restos de madera, cáscaras o podas, junto con materiales de alta materia orgánica húmeda, como residuos agropecuarios o estiércoles, buscan lograr un balance entre la generación de energía y la cohesión estructural.

Varios estudios destacan que establecer la proporción adecuada de mezcla es crucial para obtener un biocombustible sólido que sea estable y eficiente (Kpalo y Zainuddin, 2020). Este principio facilita el análisis posterior de las combinaciones particulares de materiales lignocelulósicos y orgánicos, como la poda de olivo y el estiércol de cuy, utilizados para la producción de briquetas de enfoque ambiental (ecológicas).

3.2.2.1 Biomasa

Se denomina biomasa al conjunto de materiales orgánicos de origen vegetal o animal que abarca incluyendo restos y descartes orgánicos con potencial de aprovechamiento energético (Cunuruna, 2023). Estas fuentes de energía se dividen en cuatro grupos tal como se aprecia en la Figura 2.

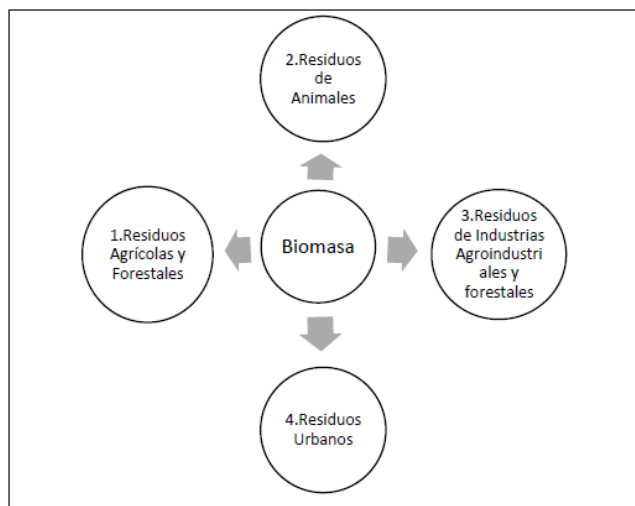


Figura 2

Fuentes de energía según los tipos de biomasa

Tomado de Cunuruna (2023).

a) Olivo

El olivo (*Olea europaea* L.) se considera una especie frutal de larga tradición y de amplia difusión a escala global. Su cultivo se concentra

especialmente en el ámbito mediterráneo, con presencia destacada en países como España, Italia, Grecia, Turquía, Túnez, entre otros (Cuevas et al., 2019) (Figura 3) y hacia el año 1 550, llegaron plantas de olivo al Perú desde Sevilla, las cuales luego se difundieron a Chile y Argentina (Costero et al., 2021).

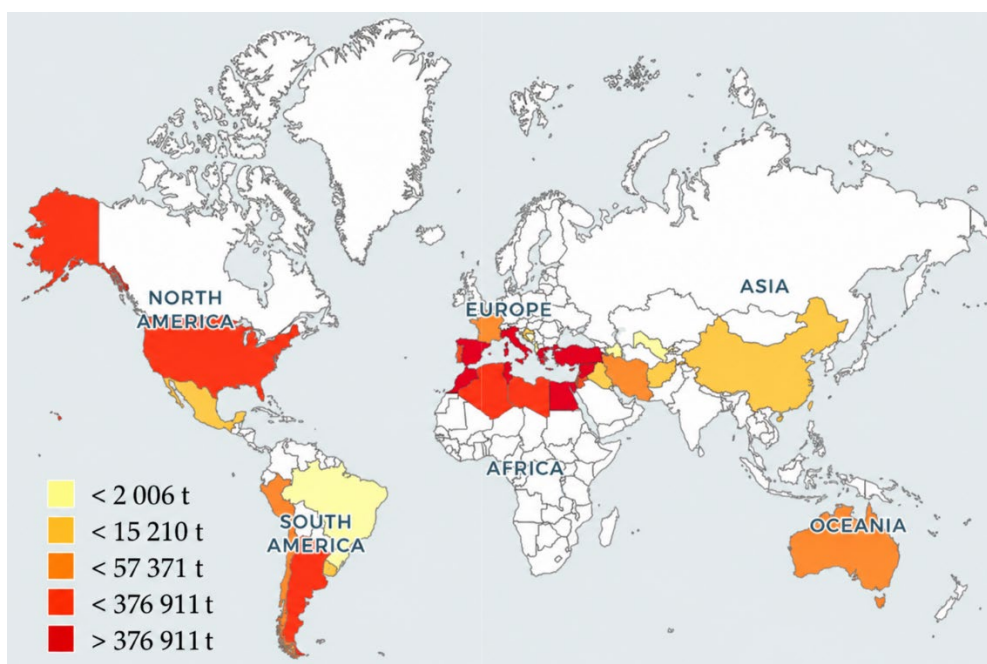


Figura 3

Cantidad de producción de aceituna en el mundo del año 1994 al 2017

Nota. Tomado de Food and agriculture organization of the United Nations (2024).

En Perú, la mayor producción de olivo se encuentra principalmente en la zona sur del país, destacando especialmente en la ciudad de Tacna,

donde las áreas más activas son La Yarada-Los Palos, Magollo y Sama (Tabla 2). En total, se cultivan cerca de 22 110 hectáreas de olivo, este cultivo abarca el 45 % de la superficie agrícola total de la región en 2018, lo que convierte a Tacna en el principal productor de olivo del Perú (Gobierno Regional de Tacna, 2024).

Tabla 2

Estadísticas del cultivo de olivo en Tacna 2018

Distritos	Producción	Superficie (ha)			Rendimiento (kg/ha)	Precio chacra (s/ kg)
		Total	Cosechada	Crecimiento		
Región	148,09	23,16	15,92	7,25	9,33	1,13
La Yarada	143	21,48	14,34	7,15	9,98	1,13
Inclán	3,05	991	991	-	3,09	1,20
Tacna	1,06	365	365	-	1,06	1,32
Sama	911	305	212	93	4,29	1,20
Ite	48	12	12	-	4	1,20
G.Albarracín	20	11	8	3	2,5	1

Nota. Tomado de Dirección regional de agricultura y Gobierno regional de Tacna (2018).

Los subproductos obtenidos a partir del procesamiento de la aceituna pueden organizarse en dos grupos. El primero corresponde a los residuos originados en la etapa de cosecha del olivo, como la poda y otros restos recolectados. El segundo reúne los materiales que se generan durante la extracción del aceite, entre los que se encuentran el orujo y el alpechín (Cunuruna, 2023; Renovetec, 2010).

En este sentido, en la Tabla 3 se muestra que, la poda de olivo, uno de los subproductos más relevantes, tiene un alto potencial como biocombustible, con un poder calorífico inferior de 4 600 kcal/kg seco y un poder calorífico superior de 4 300 kcal/kg, lo que hace que la poda de olivo sea una opción prometedora para la producción de energía (Alami, 2010).

Tabla 3

Características de los residuos del olivar

	Poder calorífico (kcal/kg seco)			
	Poda del olivar	Orujo	Orujillo	Hueso
Superior	4 600	4 500	4 500	4 800
Inferior	4 300	4 250	4 300	4 500

Nota. Adaptado de Alami (2010).

En la Tabla 4 la poda de olivo presenta un bajo contenido de humedad (10,2 %), lo cual favorece los procesos de combustión. Asimismo, el contenido moderado de cenizas (3,3 %) indica que generará una cantidad relativamente baja de residuos después de la combustión y el alto contenido de celulosa (36,6 %) y hemicelulosa (19,7 %) evidencia el potencial energético de este residuo lignocelulósico para su aprovechamiento en la producción de biocombustibles sólidos (Castillo-Ruiz et al., 2017).

Tabla 4

Composición del residuo de poda de olivo

Propiedad	Madera	Hojas	Total
Humedad (%)	10,7	8,5	10,2
Cenizas (%)	1,5	5	3,3
Celulosa (%)	32,8	5,3	36,6
Hemicelulosa (%)	26,9	16,3	19,7

Nota. Tomado de García et al. (2020).

Los restos de poda de menor calibre suelen denominarse “ramón”. En cambio, las ramas de mayor grosor (8-10 cm o más) se clasifican como leña (Figura 4) y, con frecuencia, se destinan a usos energéticos en el hogar o en actividades productivas de pequeña escala, como ladrilleras, panaderías y cementeras, especialmente en zonas rurales (García et al., 2020).

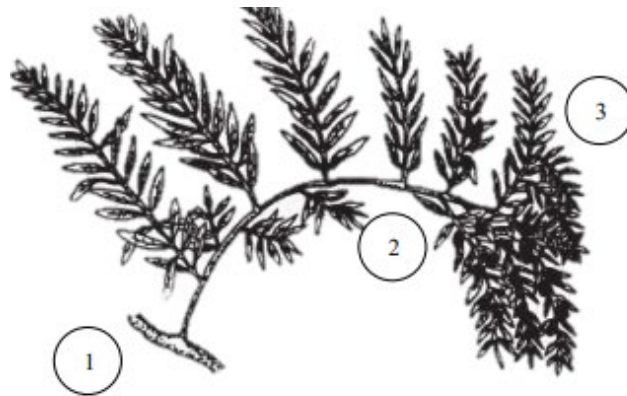


Figura 4

Constitución típica del olivo

Nota. 1. Leña, 2. Ramón, 3. Hojas. Tomado de (Molina et al. (2010)

Por otro lado, al tratarse de un material de naturaleza lignocelulósica, su composición se basa principalmente en celulosa, hemicelulosa y lignina como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5

Composición fibrosa de los restos de poda del olivo

Composición (% en peso)		
Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
36,5	20,8	21,5

Nota. Tomado de García et al. (2020).

En la poda de olivo se identifican como elementos mayoritarios el carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) y azufre (S). Estos valores analizan las características químicas de este material y su potencial como biomasa con fines energéticos. La poda tiene un contenido de C elevado, es decir un buen potencial energético, siendo el carbono clave para la generación de calor durante la combustión; el contenido de O sugiere que la biomasa puede requerir menos oxígeno externo para su combustión, aunque también puede reducir el poder calorífico neto. El N es bajo, minimizando la formación de óxidos de nitrógeno (NOx), contaminantes comunes durante la combustión y el S es nulo, siendo ideal debido a que disminuye la posibilidad de emisión de dióxido de azufre (SO₂), gas de carácter contaminante y corrosivo, conforme se aprecia en la Tabla 6.

Tabla 6

Análisis bioquímico de la poda de olivo

Elemento (%)				
C	H	O	N	S
46,1	6,4	47,2	0,4	0

Nota. Tomado de García et al. (2020).

A partir de las diferentes fuentes de biomasa, es posible generar una variedad de combustibles que se destacan por su sostenibilidad y su capacidad para sustituir los combustibles fósiles, siendo los más importantes:

- Leña: proviene de la corteza de árboles y sus ramas, y puede variar según el tipo de árbol.
- Pellets: corresponden a residuos densificados en forma cilíndrica, provenientes principalmente de procesos de limpieza y de la industria forestal y maderera; se distinguen por presentar alto valor calorífico.
- Astillas: pueden originarse de materiales como huesos, minerales o madera; en términos de eficiencia energética, suelen mostrar un rendimiento inferior al de los pellets.
- Briquetas: son biocombustibles densificados comparables a los pellets, aunque de mayor tamaño. Se elaboran mediante la compactación de residuos o subproductos procedentes de distintas actividades productivas (Pantoja, 2024).

b) Biomasa del estiércol

En el contexto nacional, predominan los sistemas de producción pecuaria de tipo familiar. En particular, la crianza familiar comercial se caracteriza porque una fracción de la producción se destina al autoconsumo, mientras que el excedente se orienta al mercado para su venta (Kajjak, 2015).

La población de cuyes ha presentado variaciones a lo largo del periodo 2016-2021 (Instituto nacional de estadística e informática, 2022), En particular, entre 2016 y 2019 se reportó un incremento promedio anual de aproximadamente 5 %, pasando de 19,7 millones a 23,6 millones de cuyes. Este comportamiento equivale a un aumento cercano a 1 millón de animales por año, lo que evidencia una tendencia sostenida de crecimiento de la demanda, tal como se aprecia en la Figura 5.

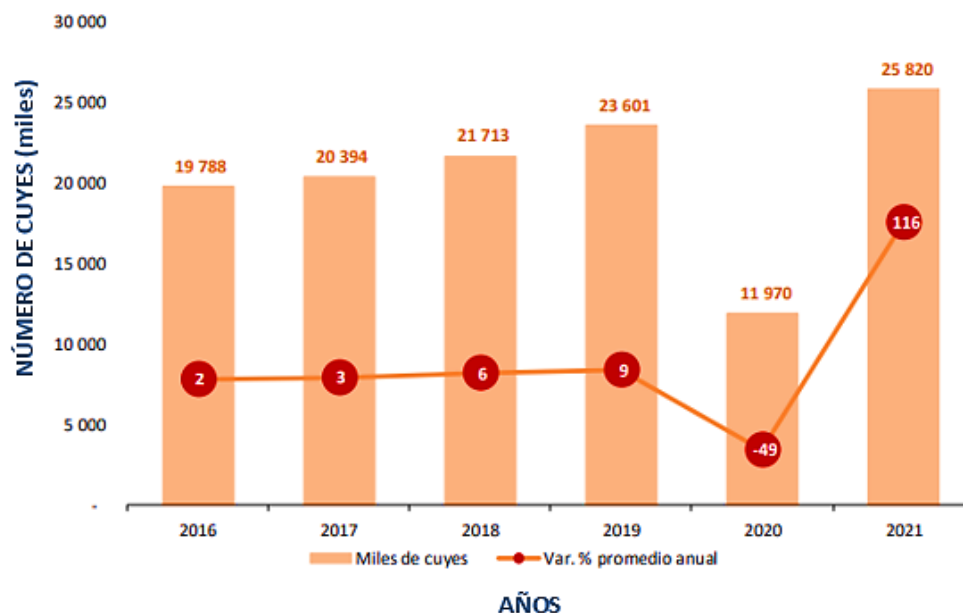


Figura 5

Evolución de la población de cuyes en el país, 2016-2021 (Miles)

Nota. Tomado de Instituto nacional de estadística e informática (2022).

En Tacna, la población de cuyes asciende a 69620, distribuidos tanto a nivel provincial como distrital, según lo detallado en la Tabla 7. De acuerdo con el censo nacional realizado en 2008, se estableció en el Valle Viejo de Tacna se registran 3 granjas orientadas a la producción comercial, 7 granjas que combinan producción comercial y familiar, y 2 pequeñas granjas de cría familiar, así como en distrito de Tacna abundan 44 781 cuyes (Telles, 2010). Hasta la actualidad, también ha habido un aumento de personas que crían cuyes únicamente para consumo propio.

Tabla 7*Distribución de cuyes a nivel provincial y distrital*

Provincia	N° de animales
Tacna	44 781
Candarave	9 042
Jorge Basadre	8 077
Tarata	7 720
Total	69 620

Nota. Tomado de Telles (2010).

Por otro lado, el estiércol corresponde a los residuos orgánicos excretados por los cuyes como resultado del proceso digestivo. Una fracción considerable de los nutrientes ingeridos no se asimila completamente, por lo que el estiércol presenta una carga importante de nitrógeno y fósforo (Tabla 8), elementos esenciales para el desarrollo vegetal y para mejorar la calidad del suelo (Chiluisa y Iván, 2017; San Román, 2019). Además, se ha señalado que el estiércol de cuy puede aportar beneficios en prácticas de manejo de suelos cuando se emplea adecuadamente, con potencial para reducir impactos ambientales.

Tabla 8*Contenido de humedad y minerales según estiércol del animal*

Especie	Humedad %	Nitrógeno %	Fósforo %
Cuy	30	1,90	0,80
Caballo	59	0,70	0,25
Vacuno	79	0,78	0,23
Ave	55	1	0,80
Cerdo	74	0,49	0,34

Nota. Tomado de Llenque (2022).

Así mismo (Osejos et al., 2018) reportan que el poder calorífico se ubica en el intervalo de 4 700 a 5 500 kcal/kg, lo que permite su aprovechamiento en actividades que requieren aporte térmico, como procesos de calefacción y cocción de alimentos, entre otros. En esa línea, el empleo de estiércol como insumo para elaborar biocombustibles sólidos favorece un enfoque de economía circular, al transformar residuos orgánicos en recursos con valor energético y, con ello, aportar a objetivos de sostenibilidad ambiental.

Este subproducto, proveniente de la digestión de alimentos fibrosos, es ampliamente utilizado en diversos sectores agrícolas y energéticos debido a su composición tan adaptable. A continuación, se presentan las principales propiedades físico-químicas del estiércol de cuy en sus diferentes productos según la Tabla 9, destacando principalmente el excremento entero, el cual registra los mayores valores de materia orgánica (68,40 %) y carbono (39,67 %) evidenciando su elevada carga orgánica y su potencial como materia prima.

Tabla 9

Propiedades fisicoquímicas del estiércol de cuy

Producto	Materia orgánica (%)	Carbono (%)
Excremento entero	68,40	39,67
Composta	28,24	16,38
Lixiviado	36,95	21,43

Nota. Adaptado de Murray-Núñez et al. (2023).

c) Briquetas

Las briquetas se consideran un biocombustible sólido de origen renovable, obtenido a partir de la densificación de materia orgánica. Pueden presentarse en distintos formatos (por ejemplo, prismáticos, cilíndricos o tipo ladrillo) y su aplicación es comparable a la de la leña convencional, por lo que resultan utilizables en diversos sistemas de generación de calor, tales como hornos, estufas, chimeneas y determinados procesos industriales, incluyendo calderas (Arévalo, 2018).

Asimismo, su uso se extiende tanto al ámbito doméstico como al industrial. En términos productivos, las briquetas permiten valorizar residuos de madera y subproductos de distintas actividades, contribuyendo a disminuir costos mediante el aprovechamiento y la compactación de biomasa residual (Sánchez et al., 2023). En la Figura 6 se observa que las briquetas elaboradas con aserrín, papel y acícula alcanzan una eficiencia térmica cercana al 30 %, lo que evidencia un mejor desempeño energético

en comparación con otras combinaciones, atribuido principalmente al mayor contenido carbonoso del aserrín.

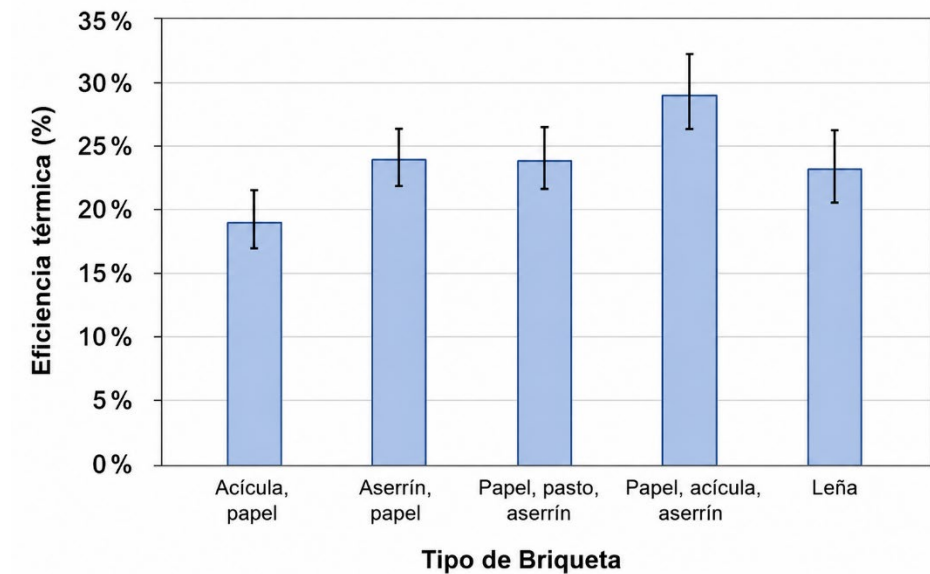


Figura 6

Eficiencia energética de distintos tipos de briquetas

Nota. Tomado de Arévalo (2018).

La geometría compacta y la homogeneidad de la briqueta facilitan su transporte, su manipulación y su almacenamiento, ya que demandan menor volumen en comparación con combustibles tradicionales. Asimismo, se señala que su combustión puede ser estable y con baja generación de contaminantes, al no producir cantidades significativas de humo (Huamán et al., 2021).

En la Figura 7 se puede ver briquetas de diferentes materias primas como: madera, residuos industriales, caña de azúcar, paja, cáscara de arroz, entre otras. Las briquetas presentan diferentes formas, tamaños y colores, dependiendo del tipo de material utilizado para su fabricación, y todas están comprimidas en cilindros o bloques compactos, listos para su uso en diversas aplicaciones, como combustibles o alimentación animal.



Figura 7

Tipos de briquetas de diferentes fuentes

Nota. Tomado de RTRES (2019).

Las briquetas de uso más frecuente, tal como se aprecia en la Figura 8, se elaboran mayoritariamente a partir de aserrín y otros subproductos de origen forestal.

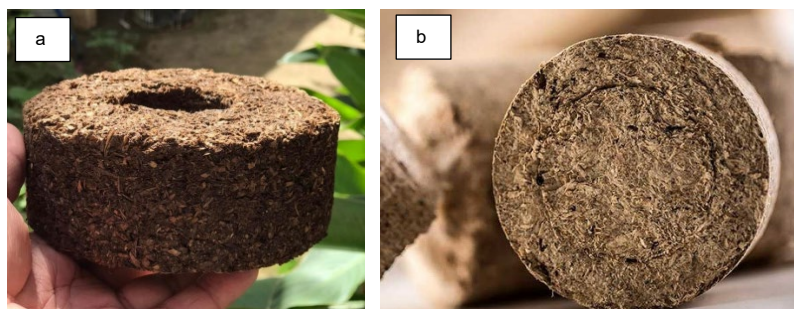


Figura 8

Tipos de briquetas más comunes

Nota. Tomado de Modelos de Briquetas. a) Briquetas de aserrín, b) Briquetas de biomasa forestal por López et al. (2016).

- **Forma de las briquetas**

Las briquetas pueden producirse en múltiples configuraciones geométricas, como rectangulares, hexagonales o circulares dependiendo del tipo de maquinaria empleada (Figura 9). En cuanto a sus dimensiones, el diámetro de las briquetas oscila entre 50 y 100 mm, mientras que la longitud puede variar aproximadamente entre 50 y 400 mm. No obstante, estas medidas pueden ajustarse de acuerdo con los requerimientos del mercado y con las especificaciones establecidas en la normativa correspondiente (Soares et al., 2015).

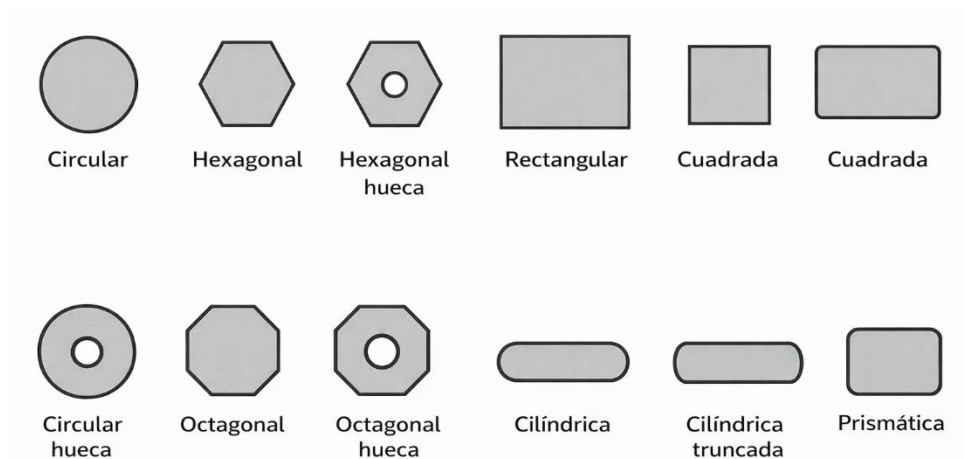


Figura 9

Diferentes formas para la elaboración de briquetas

Nota. Adaptado de Soares et al. (2015).

d) Aglutinante

Un aglutinante genera cohesión entre las sustancias, uniendo fragmentos y partículas de una o varias materias primas mediante métodos físicos o químicos. Para que su uso sea adecuado en briquetas, debe cumplir criterios básicos: permitir una preparación y aplicación sencilla, favorecer la compactación y el mezclado, no incrementar de forma significativa el costo del producto final, no ser contaminantes al quemarse, y, además, deben ofrecer resistencia y una excelente adhesión (Briones y Chilán, 2019).

Entre los aglutinantes más empleados se encuentra el almidón, debido a su capacidad de unión; sin embargo, su precio puede variar según

la disponibilidad. En términos generales, para elaborar briquetas se suelen utilizar proporciones cercanas a 4 % - 8 % de almidón. Este insumo puede obtenerse de diferentes fuentes, como harina de maíz, harina de trigo, harina de yuca, harina de arroz, harina de mandioca, almidón de papa, entre otras (Ataucusi, 2023).

Si bien se han evaluado diversos aglutinantes, el almidón se mantiene como una alternativa frecuente por su eficacia en concentraciones aproximadas de 4 %. Su desempeño se explica por la formación de una pasta al mezclarse con agua caliente. Además, uno de sus beneficios es que debe ser lo suficientemente resistente a la fermentación y a los ataques bacterianos durante el almacenamiento, así como a las variaciones del mercado.

En particular, el tubérculo de papa presenta un contenido elevado de humedad, y su fracción de carbohidratos incluye principalmente almidón, sacarosa y pectina. El almidón de papa está compuesto por dos polisacáridos: amilosa y amilopectina, posee una gran capacidad de cohesión (Prada, 2012). La amilosa es una cadena lineal de glucosa que se disuelve en agua caliente, mientras que la amilopectina por su estructura ramificada, incrementa la viscosidad y mejora la consistencia del material aglomerado.

La dosificación del aglutinante suele ajustarse según el tipo de biomasa empleada. En el caso del almidón de papa como aglomerante, se han reportado rangos de uso entre 8 % y 20 % (Ordóñez, 2015). Una ventaja relevante de este insumo es su costo relativamente bajo, lo cual puede favorecer la viabilidad económica del proceso de fabricación de briquetas.

3.2.3 Comportamiento térmico en la cocción de alimentos en briquetas

El comportamiento térmico en la cocción con briquetas se entiende como la capacidad del combustible (y del sistema cocina-olla) para transferir calor útil al alimento o al agua en un tiempo determinado, manteniendo una combustión relativamente estable. Para medirlo de forma estandarizada se usa con frecuencia la prueba de ebullición de agua, WBT (Water Boiling Test), porque simula la cocción al cuantificar cuánto combustible se requiere y cuánto tiempo toma elevar la temperatura del agua hasta ebullición, además de estimar la eficiencia térmica del proceso y, según el protocolo, también puede registrar emisiones durante la cocción.

En términos metodológicos, el desempeño en cocción suele reportarse mediante indicadores como: tiempo de ebullición (min para hervir un volumen estándar), tiempo de encendido y velocidad de combustión (tasa de pérdida de masa del combustible)

Desde una perspectiva física, el tiempo de cocción depende de la energía disponible (poder calorífico) y de qué tan controlada sea la liberación de calor (ignición, estabilidad de llama/brasas y tasa de combustión). En briquetas con fracciones de estiércol, se ha observado que el contenido de estiércol puede modificar la dinámica de combustión, prolongando el tiempo total de quemado cuando aumenta la proporción de estiércol, debido a una liberación de energía más lenta respecto a fracciones lignocelulósicas; por eso, en cocción puede haber un intercambio entre “calor sostenido” y “rapidez para hervir”. Esta relación fue evaluada en briquetas de estiércol bovino y serrín, donde se analizaron variables como tiempo de encendido, tiempo de combustión y eficiencia térmica según el porcentaje de mezcla (Tejada et al., 2021).

Para comparar briquetas frente a leña en tareas de cocción, es clave mantener condiciones equivalentes (misma cocina, olla, volumen de agua, control de corrientes de aire y misma forma de encendido), porque el rendimiento no depende solo del combustible.

3.3 Definición de términos

3.3.1 Biomasa

La biomasa de origen natural se considera un recurso energético renovable, debido a que proviene de materia orgánica que puede regenerarse mediante procesos de cultivo y recolección. Su

aprovechamiento como combustible permite obtener energía a partir de materiales reutilizables y, en condiciones adecuadas, se integra al ciclo del carbono, con potencial para reducir impactos ambientales asociados a fuentes convencionales (Pantoja, 2024).

3.3.2 Briquetas

Una briqueta es un tipo de material prensado en forma cilíndrica para usarse para combustible. Dependiendo la materia prima o biomasa seleccionada para su fabricación, varía su composición y características fisicoquímicas, así como también su uso (Pantoja, 2024).

3.3.3 Residuos de poda de olivo

Se denomina residuos de poda de olivo al conjunto de restos vegetales generados durante las labores de poda del árbol de olivo, los cuales están conformados principalmente por ramas, ramillas, hojas y otros fragmentos vegetales resultantes del corte y manejo del árbol (Molina et al., 2010).

3.3.4 Estiércol de cuy

El estiércol de cuy corresponde al residuo orgánico excretado por estos animales y se emplea comúnmente como insumo para mejorar suelos y fertilizar cultivos agrícolas (Murray et al., 2023).

3.3.5 Aglutinante

Se denomina aglutinante al material que permite generar cohesión en una mezcla, facilitando que sus componentes se unan o se adhieran entre sí de manera estable, con el propósito de obtener un producto con mejor integridad y resistencia (Alarcón, 2017).

3.3.6 Poder calorífico

El poder calorífico representa la capacidad energética de un combustible y se refiere a la cantidad de energía térmica que puede liberarse durante su combustión completa. Este parámetro suele expresarse en kilojulios (kJ) o kilocalorías (kcal) por kilogramo de combustible y constituye un indicador fundamental para evaluar su rendimiento energético (López et al., 2018).

3.3.7 Eficiencia energética

La eficiencia energética alude al uso racional de la energía, orientado a alcanzar el mayor desempeño posible con el menor consumo. Implica optimizar procesos, actividades y sistemas mediante prácticas más inteligentes, reduciendo pérdidas energéticas y disminuyendo el impacto ambiental asociado (Martínez y Gassinski, 2022).

3.3.8 Cocción de alimentos

La cocción es un proceso mediante el cual los alimentos se someten a calor para generar cambios que permiten su preparación para el consumo. Este tratamiento térmico modifica propiedades como el sabor, la textura, el aroma y, en determinados casos, la composición nutricional del alimento (Escuder y Viana, 2017).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

El estudio se enmarcó en una investigación aplicada, debido a que integró fundamentos teóricos vinculados con la elaboración de briquetas y los orientó a la obtención de resultados con utilidad práctica. En este sentido, se buscó generar un producto o evidencia técnica que contribuyera a mejoras con impacto económico y social (Castro et al., 2023).

4.1.2 Nivel de investigación

El nivel de la investigación fue explicativo, ya que se evaluó la relación entre las proporciones de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo y su influencia en las variables fisicoquímicas, energéticas y de combustión de las briquetas. Además de describir el fenómeno observado, se pretendió identificar los factores que lo determinaron y sustentar sus causas (Albán et al., 2020).

4.1.3 Diseño de investigación

El diseño estadístico adoptado corresponde a un Diseño Completamente al Azar (DCA), conformado por siete tratamientos y tres repeticiones; el procesamiento de datos se efectuó mediante el software Statgraphics 19 X-64, conforme se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11

Tratamientos y repeticiones para el experimento

Tratamientos	A	B	C	D	Repetición		
					R1	R2	R3
1	40	27	13	8			
2	94	27	13	8			
3	40	108	13	8			
4	94	27	120	8			
5	40	27	13	34			
6	40	108	13	34			
7	94	108	120	34			

Nota. (A) Estiércol de cuy (g), (B) Residuos de poda de olivo (g), (C) Almidón de papa (g) y (D) Aserrín (g)

4.2 Lugar de estudio

El estudio se desarrolló en el departamento de Tacna, dentro de la provincia de Tacna, distrito de Sama, según lo indicado en el Anexo 2.

4.3 Población y muestra de estudio

4.3.1 Población

La población de estudio estuvo constituida por residuos orgánicos generados en las actividades agropecuarias del distrito de Sama, específicamente el estiércol de cuy proveniente de la crianza doméstica y los residuos de poda de olivo provenientes de los campos de cultivo de la zona.

4.3.2 Muestra

Las muestras de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo fueron obtenidas en un área de cultivo ubicada en el distrito de Sama. La selección se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando criterios de accesibilidad y disponibilidad del recurso. Para el análisis, se tomó una cantidad de 10 kg por cada muestra.

4.4 Método

4.4.1 Técnica de recolección

- **Densidad:** Para determinar la densidad de las briquetas se emplea el volumen, el cual se determinó considerando su geometría como cilindros huecos, debido a la presencia de un orificio central. Para ello, se empleó la ecuación:

$$V = \pi \cdot h \cdot (R^2 - r^2) \dots \dots \dots \text{Ec. 1}$$

Donde: h es la altura de la briqueta, R el radio externo y r el radio interno de la briqueta. Esta expresión corresponde al volumen de un cilindro anular, definido como la diferencia entre el volumen de dos cilindros concéntricos (Hibbeler, 2016). Posteriormente, la densidad se calculó mediante la ecuación dada por Tejada et al. (2021).

$$\rho = \frac{MS_B}{\text{volumen de la briqueta}} \dots \dots \dots \text{Ec. 2}$$

Donde: ρ es densidad de la briqueta y MS_B es la masa seca de la briqueta.

- **Contenido de humedad:** Se determinó el contenido de humedad de las briquetas por su influencia directa en el desempeño de combustión. Un nivel elevado de humedad tiende a disminuir el poder calorífico, debido a que parte de la energía liberada se emplea en evaporar el agua presente durante la quema. En procesos de conversión energética se recomienda trabajar con biomasa de baja humedad; en particular, para optimizar el rendimiento, se sugiere que el material presente valores menores al 30 % (BNU-CEA, 2002).

Para estimar este parámetro se aplicó la ecuación propuesta por Castells (2005), expresada como:

$$CH(\%) = \frac{PB_H - PB_S}{PB_S} \dots \dots \dots \text{Ec. 3}$$

Donde CH es el contenido de humedad (%), PBS corresponde a la masa de la muestra seca (g) y PBH representa la masa de la muestra húmeda (g).

- **Contenido de cenizas:** Se evaluó el contenido de cenizas como un parámetro clave en la combustión. Las cenizas corresponden a la fracción inorgánica residual que queda luego de la quema del material. Un alto contenido podría reducir la eficiencia de combustión y generar acumulaciones en los equipos. Se busca un bajo porcentaje de cenizas para mejorar el poder calorífico y reducir la necesidad de limpieza frecuente en los sistemas de combustión, por ello se pesaron 2g de muestra carbonizada, los cuales fueron colocados en una cápsula de porcelana y posteriormente sometidos a incineración en una estufa a 450 °C durante 2 horas, hasta alcanzar su combustión completa (Falcón y Velarde 2022).

Asimismo, para el cálculo del contenido de humedad se empleó la ecuación propuesta por Ifa et al., (2020), siendo la siguiente:

$$CC \% = \frac{W_o \text{ del residuo de la muestra}}{W1 \text{ de la muestra}} * 100 \dots\dots\dots \text{Ec. 4}$$

Dónde: CC= Contenido de ceniza, Wo = masa del residuo de la muestra, W1= masa de la muestra inicial

- **Índice de friabilidad:** Se evaluó la friabilidad de las briquetas, un indicador importante para determinar su resistencia al manejo y transporte.

Conforme a la Norma Técnica Colombiana NTC 2060, un material se considera friable cuando tiende a desintegrarse con facilidad. Para su determinación, se aplica una prueba de impacto orientada a relacionar la cantidad de caídas con el número de fragmentos generados. El procedimiento consiste en dejar caer repetidamente la briqueta desde una altura aproximada de 2,0 a 1,8 m registrando el número de lanzamientos efectuados y los pedazos obtenidos tras la fractura. Con esta información, se estima la resistencia del material mediante la siguiente fórmula (Vargas, 2017).

$$IFR = \frac{NL}{NP} \dots \dots \dots \text{Ec. 5}$$

Dónde: NL es el número de lanzamientos y NP es el número de fragmentos obtenidos (briqueta fraccionada).

Se establece que el índice de resistencia a la fractura (IFR) debe alcanzar como mínimo un valor de 50; para la determinación de este parámetro, el ensayo se desarrolló tomando como referencia la norma ASTM D440-86.

- **Poder calorífico:** El poder calorífico se define como la energía térmica liberada por un combustible por unidad de masa o volumen cuando ocurre su oxidación completa (Fernandez, n.d.).

Para la determinación del poder calorífico, las muestras de briquetas se combustionan en un dispositivo de cocción acondicionado para este fin, de modo que el calor liberado se transfiera a un recipiente que contiene 1 000 g de agua. El parámetro se estima a partir del incremento de temperatura registrado en el agua y se calcula empleando las ecuaciones correspondientes:

$$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \dots \dots \dots \text{Ec.6}$$

$$P_c = \frac{Q}{M_b} \dots \dots \dots \text{Ec. 7}$$

$$n = \frac{Q_{H_2O}}{Q_{BR}} \dots \dots \dots \text{Ec. 8}$$

Donde: Q: Es la cantidad de calor transferido durante la combustión de las briquetas. Se mide en calorías (cal), m: Es la masa del agua, que en este caso es 1000 g, lo que equivale a 1 kg, c: Es la capacidad calorífica específica del agua, que tiene un valor de 1 cal/g°C (o 4180 J/kg·°C), T2: Es la temperatura final del agua después de haber recibido el calor de la briketa. Se mide en grados Celsius (°C), T1: Es la temperatura inicial del agua antes de recibir el calor de la briketa. También se mide en grados Celsius (°C), Pc: Es el poder calorífico de la briketa, que se calcula dividiendo el calor (Q) entre la masa de la briketa quemada (Mb). Se mide en J/kg o kcal/kg, dependiendo de la unidad utilizada, Mb corresponde a la masa de briketa consumida durante el ensayo, medida en kilogramos (kg), n: es la eficiencia de la cocina (%), Qh2O: cantidad de calor

transferido del agua (cal) y Qbr: Cantidad de calor transferido de la briqueta (cal).

Asimismo, se consideró como referencia el poder calorífico del chañar de 4 303,67 kcal/kg (Carmona, 2013), con el propósito de estimar el valor calorífico de la briqueta evaluada. Se empleó la eficiencia de la cocina empleada usando dicha leña siguiendo el método de Tejada et al. (2021).

Por otro lado, se realizó la prueba de agua hirviendo (WBT) con la finalidad de evaluar el desempeño térmico de los combustibles sólidos en condiciones controladas, simulando un escenario básico de uso doméstico. Este ensayo permitió analizar el comportamiento del combustible durante el proceso de calentamiento de agua.

En el presente estudio, la aplicación de esta prueba se orientó a la determinación de parámetros operativos, tales como el tiempo de encendido, el tiempo de combustión y la velocidad de combustión, los cuales permiten caracterizar el rendimiento del combustible en términos de su respuesta térmica y su capacidad de mantener la combustión durante el proceso.

- **Tiempo de encendido:** Corresponde al intervalo de tiempo requerido para que la briqueta inicie y alcance una combustión completa.

- **Tiempo de combustión:** Corresponde al intervalo de tiempo requerido para que el agua alcance su temperatura de ebullición a partir de la temperatura ambiente, empleando como fuente de calor la briqueta.
- **Velocidad de combustión:** Corresponde a la tasa de consumo de combustible necesaria para lograr la ebullición del agua en un recipiente, la cual se determina mediante la relación entre la cantidad de combustible consumido y el tiempo total de la prueba (Mendoza et al., 2020). Se halla de esta manera:

$$V_c = \frac{Q_1 - Q_2}{T_c} \dots\dots\dots \text{Ec. 9}$$

Donde: Vc: Es la velocidad de combustión, Q1: Es el peso inicial de la briqueta antes de la combustión (g), Q2: Es el peso final de la briqueta después de la combustión (g) y Tc: Es el tiempo de combustión.

4.4.2 Instrumentos de recolección

Los instrumentos empleados para el registro de información fueron los siguientes:

- Ficha de control de los pesos de las briquetas (antes y después).
- Ficha de control para la densidad, IFR, CC, CH, tiempos de encendido, combustión; velocidad de combustión y poder calorífico de las briquetas elaboradas.
- Ficha de control para el tiempo de cocción del alimento (briqueta y leña de chañar)

4.5 Procesamiento experimental

4.5.1 Determinación de las características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos poda de olivo

Según la metodología de Valderrama et al. (2007) y Cunuruna (2023), los insumos evaluados correspondieron a estiércol de cuy y residuos de poda de olivo empleados como materia prima para la elaboración de briquetas. Dichos materiales se obtuvieron en el distrito de Sama Las Yaras (-17.8649854, -70.5620547) Tacna, Perú. Como aglutinante y aditivo se utilizaron almidón de papa y aserrín, adicionándose además una cantidad controlada de agua para favorecer la cohesión y compactación de la mezcla. El diseño experimental consideró siete tratamientos con distintas combinaciones como se muestra en la tabla 12.

En primer lugar, se realizó el molido manual y el tamizado de las materias primas (estiércol de cuy y residuos de poda de olivo), con el propósito de homogenizar el tamaño de partícula y favorecer una compactación adecuada, obteniendo una mezcla con mejor consistencia.

Luego, para la obtención del aglutinante, se procesó la papa como fuente de almidón siguiendo la metodología propuesta por Villalobos et al. (2014); para ello, las papas fueron lavadas con agua para la eliminación de impurezas superficiales y luego sometidas a un rallado manual, favoreciendo la liberación del almidón contenido en el tejido. A

continuación, la pulpa resultante fue filtrada mediante una tela de porosidad fina, permitiendo la separación del extracto líquido rico en almidón de los residuos sólidos. El filtrado obtenido se dejó en reposo durante aproximadamente 30 minutos, a fin de promover la sedimentación del almidón. Finalmente, se retiró el agua sobrenadante, recuperándose el almidón sedimentado, el cual fue sometido a un proceso de molienda en mortero para reducir su tamaño de partícula antes de su uso, siendo posteriormente empleado como aglutinante en la elaboración de las briquetas.

Posteriormente, para la compactación de las briquetas, se efectuó aplicando una presión de 0,8-1,70 kPa, utilizando moldes cilíndricos de madera de 8 cm de diámetro y 4 cm de altura, así como un mazo de 7,5 cm de ancho y 14 cm de alto tal como se aprecia en la Figura 10.

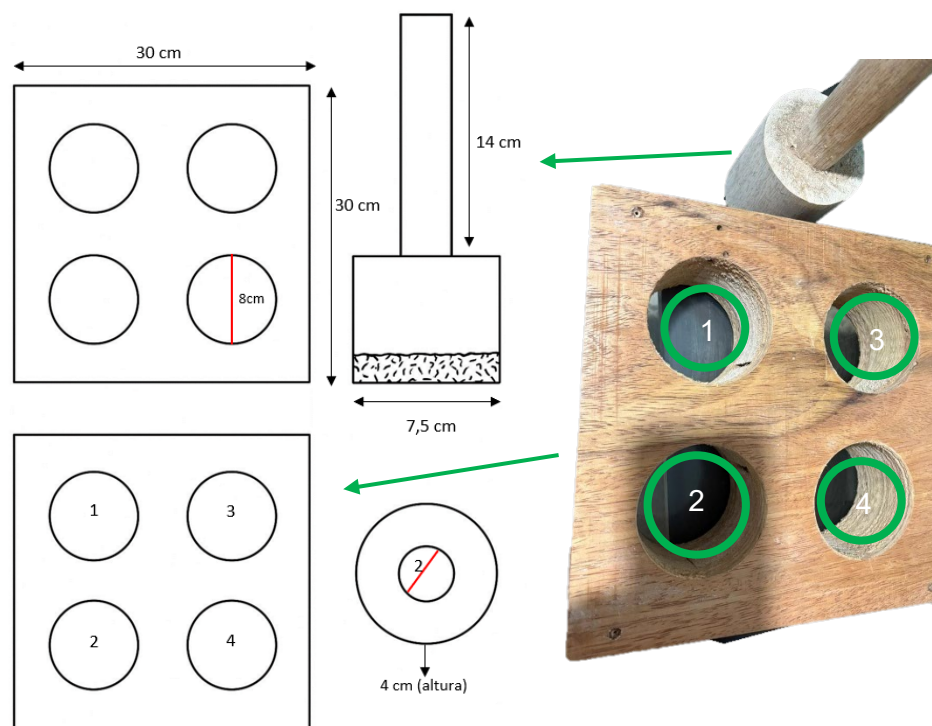


Figura 10

Molde casero de madera y mazo para la fabricación de las briquetas

Por último, las briquetas se retiraron de los moldes y se sometieron a secado natural bajo radiación solar durante 15 días, hasta alcanzar masa constante. Este procedimiento tuvo como objetivo disminuir el contenido de humedad; para ello, se registró el peso inicial y el peso final (g), tal como se muestra en la Figura 11 (Balseca-Sampedro et al., 2018).

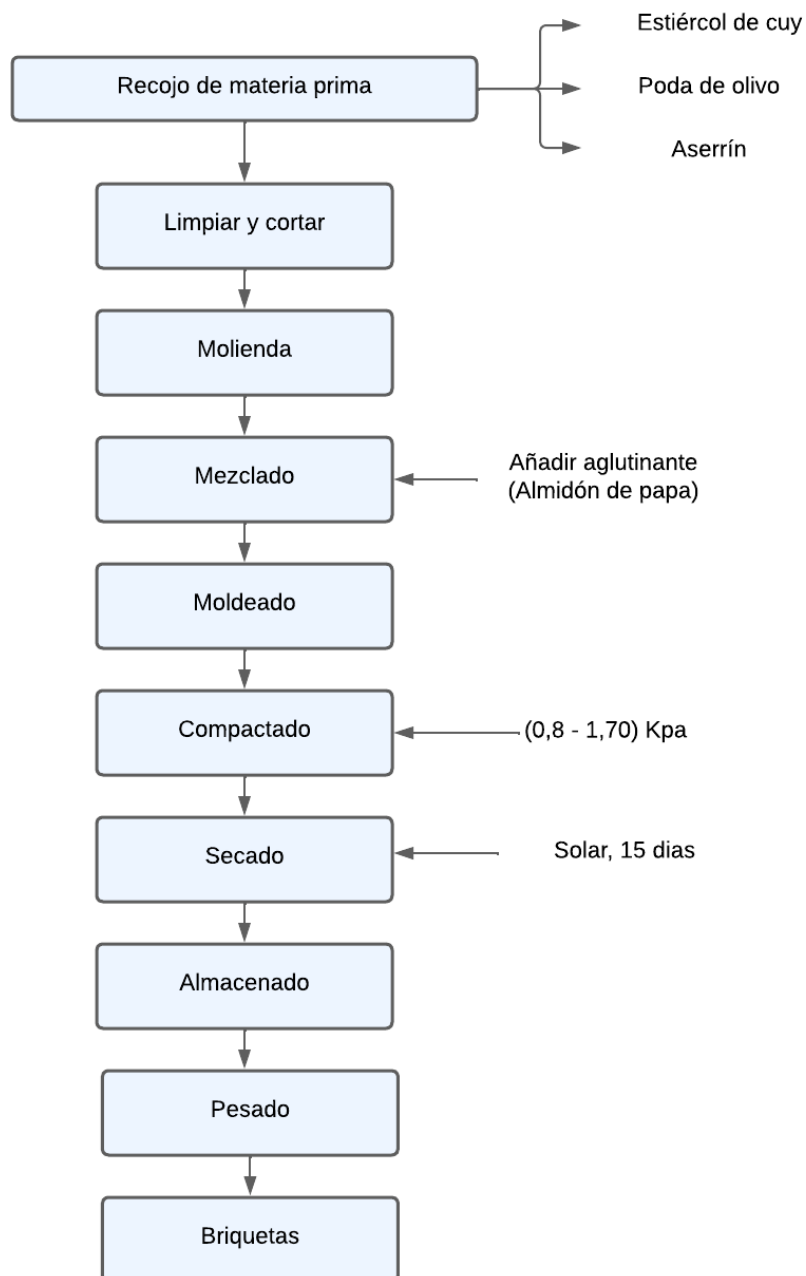


Figura 11

Procedimiento a realizar para las briquetas de la presente investigación

Para la caracterización fisicoquímica de las briquetas producidas, se consideraron los siguientes parámetros: densidad, humedad, contenido de cenizas e índice de friabilidad.

Determinación de la densidad

La densidad de las briquetas se estimó a partir del cociente entre la masa y el volumen. La masa se obtuvo con una balanza digital. El volumen se calculó usando las dimensiones geométricas del espécimen (diámetro 8 cm y altura 4 cm), considerando la presencia de un orificio central de 2 cm de diámetro. Con estos valores se determinó la densidad, expresada en g/cm³.

Determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad se evaluó mediante un procedimiento gravimétrico. Para ello, las briquetas se pesaron inicialmente y luego se sometieron a secado hasta alcanzar masa constante. La diferencia entre la masa inicial y la masa final permitió calcular el porcentaje de humedad correspondiente a cada tratamiento.

Determinación del contenido de cenizas

El porcentaje de cenizas se determinó en laboratorio mediante combustión controlada, siguiendo la Norma ASTM D-1762S (2001). Para cada tratamiento, se tomaron 2 g de muestra, los cuales se carbonizaron

en una cápsula de porcelana. Posteriormente, el material se llevó a una mufla a 450 °C durante 2 horas para completar la incineración y luego se dejó enfriar aproximadamente 30 minutos. Finalmente, se pesó el residuo inorgánico obtenido y se expresó el contenido de cenizas como porcentaje respecto a la masa inicial de la muestra.

Determinación del índice de friabilidad

El índice de friabilidad se determinó mediante ensayos de resistencia mecánica, evaluando la pérdida de masa y el grado de fragmentación de las briquetas. Para ello, las muestras fueron sometidas a impactos controlados, dejándolas caer contra una superficie rígida en repetidas ocasiones. Los resultados obtenidos permitieron estimar la integridad estructural de cada tratamiento.

4.5.2 Determinación de la proporción óptima de briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo que permita obtener briquetas con las mejores propiedades fisicoquímicas y energéticas

Para la determinación de la mezcla óptima, se evaluaron parámetros energéticos y analizaron: tiempo de encendido, tiempo de combustión, velocidad de combustión y poder calorífico.

Tiempo de encendido

El tiempo de encendido se determinó midiendo el intervalo de tiempo transcurrido en minutos (cronómetro) desde la aplicación de la fuente de ignición hasta que la briqueta inició una combustión estable y visible.

Tiempo de combustión

El tiempo de combustión se evaluó utilizando una estufa doméstica pequeña como se muestra en la Figura 12, sobre la cual se colocó una olla con agua. Se registró el intervalo requerido para que el agua presentara un aumento de temperatura (termómetro), como indicador del desempeño térmico de la briqueta.



Figura 12

Estufa casera para las pruebas experimentales con las briquetas elaboradas

Nota. Fotografía propia de la estufa casera utilizada en las pruebas experimentales

Velocidad de combustión

La velocidad de combustión se determinó a partir del cociente entre la masa consumida de la briqueta y la duración total del proceso de combustión, con el fin de estimar la tasa a la que el combustible fue utilizado durante el ensayo.

Determinación del poder calorífico

El poder calorífico fue calculado mediante una expresión matemática que considera el incremento de temperatura del agua, la masa

de agua empleada y el tiempo de combustión. Este cálculo permitió estimar la energía térmica liberada por cada tratamiento.

Finalmente, con base en los resultados obtenidos para los indicadores de tiempo de encendido, duración de combustión, velocidad de consumo, poder calorífico y las características fisicoquímicas, se procedió a analizar comparativamente los diferentes tratamientos experimentales. Este análisis permitió identificar las mezclas que presentaron un mejor desempeño energético y térmico, determinándose así las mezclas óptimas o más eficientes para la elaboración de briquetas. A partir de ello, se identificaron las formulaciones con mejor desempeño energético y térmico, determinándose las mezclas más eficientes.

4.5.3 Caracterización del comportamiento térmico en la cocción de alimentos de las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo

Para evaluar el comportamiento térmico de las briquetas en la cocción de alimentos, se realizó una comparación experimental entre las briquetas elaboradas y la leña de chañar, combustible tradicionalmente utilizado en la zona de Sama.

Se empleó una estufa doméstica y una lata mediana, utilizando como alimento de prueba una papa pequeña de la variedad tumbay. Tanto la briqueta como la leña de chañar fueron pesadas previamente, asegurando masas similares con el fin de garantizar condiciones comparables.

Se midió el tiempo de cocción (min) requerido para que la papa alcanzara el punto de cocción esperado, utilizando este indicador para valorar la eficiencia térmica de ambos combustibles. Con los datos obtenidos, se comparó el rendimiento de las briquetas respecto a la leña convencional, considerando la rapidez y la efectividad del proceso de cocción.

4.6 Materiales y equipos

4.6.2 Materiales

a) Materiales de muestreo

- 5 baldes de 10 L c/u
- Agua destilada
- 1 Mortero
- 1 Piedra grande (moler)
- Guantes
- Bowls
- Mascarillas

- Cuchara
- Rayador
- Latas de metal
- Estiércol de cuy (g)
- Residuos de poda de olivo (g)
- Almidón de papa (g)
- Aserrín (g)

4.6.2 Equipos

- Balanza analítica
- Cápsulas de porcelana
- Estufa
- Termómetro
- Tamiz
- Trituradora
- Madera
- Impresora
- Laptop

4.7 Análisis estadístico

Para el primer objetivo, se analizaron las propiedades fisicoquímicas de briquetas obtenidas con distintas formulaciones de estiércol de cuy,

residuos poda de olivo, almidón y aserrín. Se consideraron como variables de respuesta la densidad, contenido de humedad, índice de friabilidad y contenido de cenizas. Los ensayos se realizaron con réplicas experimentales para cada formulación.

Posteriormente, los datos obtenidos fueron analizados mediante un Análisis de Varianza (ANOVA), empleando un nivel de significancia de 0,05; con el fin de determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones evaluadas para cada propiedad fisicoquímica. El procesamiento estadístico se realizó utilizando el software Statgraphics Centurion 19 en su versión libre (64 bits).

Adicionalmente, con el propósito de identificar qué tratamiento presentó el mejor desempeño, se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. Este análisis permitió determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

Para el segundo objetivo se determinó la proporción óptima de la mezcla entre estiércol de cuy y residuos de poda de olivo que permita obtener briquetas con las mejores propiedades fisicoquímicas, considerando como variables de respuesta el tiempo de encendido, el tiempo de combustión y la velocidad de combustión. Al igual que en el objetivo anterior, los datos obtenidos fueron procesados mediante el ANOVA, utilizando igualmente un

nivel de significancia de 0,05; con el propósito de identificar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones en relación con su comportamiento de combustión.

Asimismo, con la finalidad de determinar el tratamiento de mayor desempeño, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, la cual permitió identificar diferencias significativas entre los tratamientos evaluados y una prueba de kruskal-Wallis.

Para el tercer objetivo se evaluó el comportamiento térmico en la cocción de alimentos, considerando como variable de análisis el tiempo de cocción de una papa, empleando como fuentes de energía briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo y como referencia, leña de chañar. Los ensayos se realizaron bajo condiciones controladas y con réplicas experimentales para cada tipo de combustible.

Dado que el objetivo fue comparar el desempeño térmico entre dos combustibles, se aplicó previamente la prueba U de Mann-Whitney para evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tiempos de cocción. Posteriormente, se desarrolló un análisis descriptivo de carácter comparativo mediante el diagrama de cajas y bigotes (boxplot), el cual permitió evaluar la mediana, la dispersión de los datos, la variabilidad y la eventual identificación de valores atípicos en el tiempo de cocción para

cada tratamiento. El procesamiento estadístico se realizó utilizando el software IBM SPSS Statistics en su versión libre.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

5.1.1 Determinación de las características fisicoquímicas de briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo

En la tabla 12 se presenta una síntesis de los resultados fisicoquímicos obtenidos para las briquetas elaboradas con estiércol de cuy y poda de olivo, considerando los indicadores de densidad, contenido de humedad, índice de friabilidad y contenido de cenizas.

De acuerdo con los valores consignados en la Tabla 12, los tratamientos T4 y T7 alcanzaron las densidades más altas (0,32 - 0,37 g/cm³), caracterizados por proporciones altas de almidón de papa (120g). En contraste, los tratamientos T5 y T3 presentaron las densidades más bajas (0,24 - 0,28 g/cm³), correspondientes a los tratamientos con menor proporciones de aglutinante.

Respecto al contenido de humedad, los valores fluctuaron entre 12,6 % (T1) y 27,6 % (T7). Los tratamientos de menor CH fueron T1 y T6 (12,6 - 13 %), mientras que los mayores porcentajes se concentraron en formulaciones con proporciones altas de aglutinante.

El Índice de Friabilidad registró valores desde 50 (T1) hasta 100 (T5). Todos los tratamientos superaron ampliamente el umbral mínimo de

aceptabilidad (≥ 50 %), evidenciando mayor resistencia mecánica frente a la fragmentación tras el ensayo. En cambio, los IFR más bajos se localizaron en los tratamientos T1, T3 y T6 (50 – 62,50 %), siendo estos los tratamientos más susceptibles a fragmentación.

Los tratamientos con contenidos de cenizas bajos (1,0 % a 2,5 %) se asocian a una combustión parcial durante el ensayo, donde solo una fracción de la briqueta logró incinerarse, generando una subestimación del residuo mineral. Por otro lado, los tratamientos con contenidos de cenizas más altos (10 % a 15 %) corresponden a aquellos en los que la combustión se desarrolló de forma más completa, permitiendo una mejor representación de la fracción inorgánica del material.

Además, se realizó la comparación con la normativa establecida (NTC 2060, ASTM D440-86), donde se observó que, para la densidad, aunque la normativa no establece un valor límite, los tratamientos presentaron valores entre 0,24 y 0,37 g/cm³. Para el contenido de humedad, la normativa exige CH<15 %, mientras que los tratamientos alcanzaron valores entre 12,6 % y 27,6 %, evidenciando que algunos tratamientos superan el límite permitido. En el caso del índice de friabilidad, la normativa establece un mínimo de IFR ≥ 50 %, y los tratamientos mostraron valores entre 50 y 100, cumpliendo todos con el estándar. Finalmente, para el contenido de ceniza, la normativa determina un máximo de CC<30 %, y los tratamientos registraron entre

0 % y 15 %, encontrándose todos dentro del rango permitido como lo indica la Tabla 12.

Tabla 12

Características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas

Tratamientos	Estiércol	Poda	Almidón	Aserrín	Normativa: NTC 2060, ASTM D440 – 86			
					-	CH<15 %	IFR>=50	CC<30%
					D (g/cm ³)	CH (%)	IFR	CC (%)
1	40	27	13	8	0,29	12,6	50,00	10
2	94	27	13	8	0,27	15,6	71,43	10
3	40	108	13	8	0,28	15,3	62,50	15
4	94	27	120	8	0,37	19,7	66,67	1
5	40	27	13	34	0,24	14,6	100,00	10
6	40	108	13	34	0,29	13,0	62,50	10
7	94	108	120	34	0,32	27,6	80,00	2,5

Nota. 1-7 tratamientos obtenidos del diseño; estiércol de cuy, residuos de poda de olivo; almidón de papa y aserrín; D= Densidad; CH= Contenido de humedad; IFR= Índice de friabilidad; CC= Contenido de cenizas.

- Densidad

Para determinar qué tratamiento mostró la menor y mayor densidad, se presentó la siguiente figura. La Figura 13 muestra la variación de la densidad a lo largo de 7 tratamientos. El valor más alto de densidad se alcanza en el tratamiento T4 con 0,37 g/cm³, mientras que el valor más bajo se presenta en el tratamiento T5 con 0,24 g/cm³.

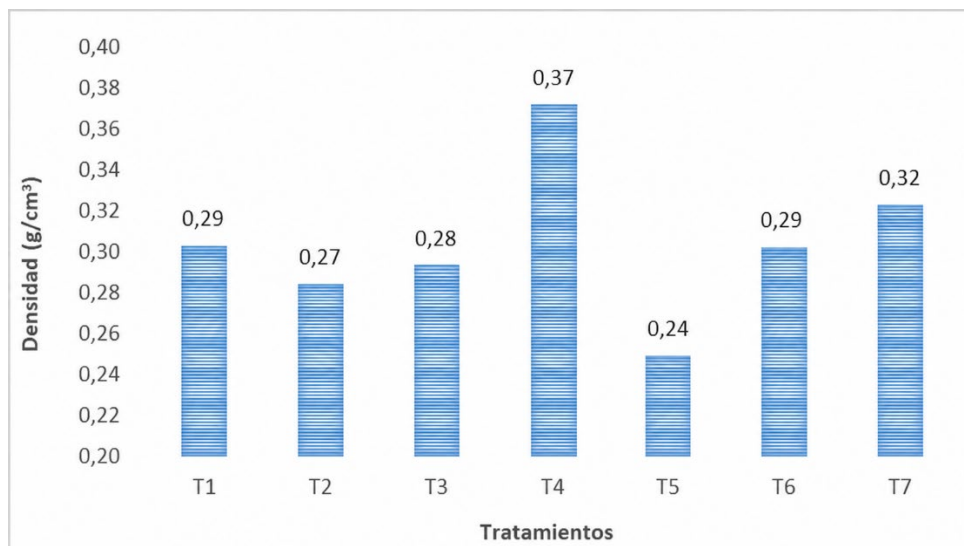


Figura 13

Densidad de las briquetas en los 7 tratamientos

En la Tabla 13 se presentaron los resultados del análisis de varianza. Se observa que el efecto de los tratamientos resulta altamente significativo, dado que el valor de probabilidad asociado ($p = 0,0000$) es inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$); por lo que se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias y se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados.

Tabla 13

Análisis de varianza de la densidad para los tratamientos de las briquetas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0307619	6	0,00513	153,81	0,0000
Intra grupos	0,0004666	14	0,00003		
Total (Corr.)	0,0312286	20			

CV: 1,94 %

En la Tabla 14 se demostro mediante la prueba de tukey, que no existen diferencias significativas entre los tratamientos T2 y T3, asi como los tratamientos T3, T1 y T6. Por otro lado el T5 si se diferenció significativamente de los demas tratamientos con una media de 0,236 g/cm³.

Tabla 14

Prueba de rango múltiple de Tuckey ($p < 0,05$) para la densidad de las briquetas

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T5	3	0,236	a
T2	3	0,273	b
T3	3	0,276	b c
T6	3	0,286	c
T1	3	0,286	c
T7	3	0,323	d
T4	3	0,366	e

Nota. Las medias que no comparten letra son estadísticamente diferentes

- Contenido de humedad

Con el propósito de identificar los tratamientos con valores extremos de humedad (máximo y mínimo), se presenta la Figura 14. En ella se aprecia el comportamiento del contenido de humedad a través de los 7 tratamientos. El valor más alto de humedad se alcanza en el tratamiento T7 con un 27,6 %, mientras que el valor más bajo se presenta en el tratamiento 1 con un 12,6 %.

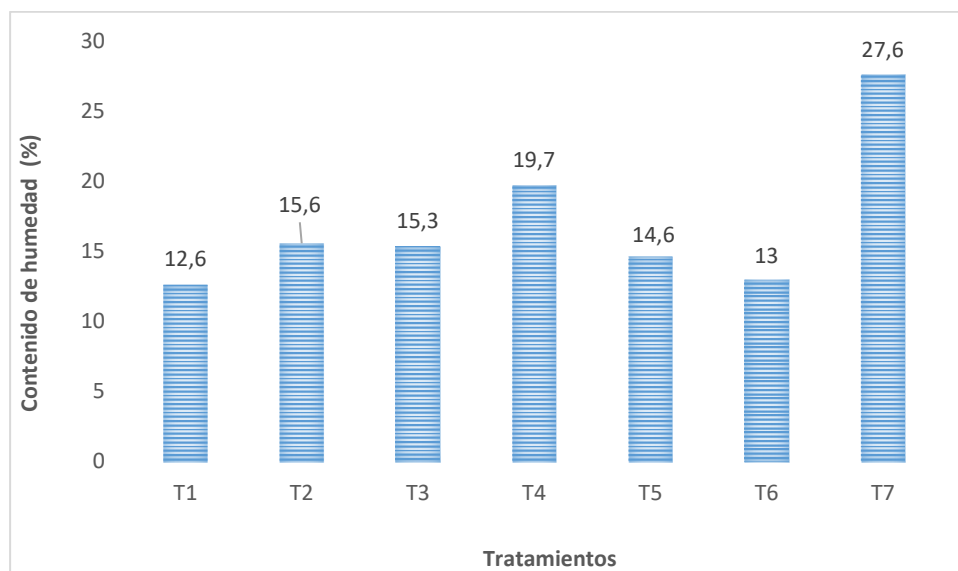


Figura 14

Contenido de humedad de las briquetas en los 7 tratamientos

El Análisis de varianza aplicado al contenido de humedad, presentado en la Tabla 15 demostró mediante el análisis de varianza que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados, debido a que el valor de significancia ($p = 0,0000$) es menor a 0,05.

Tabla 15

Análisis de varianza del contenido de humedad para los tratamientos de las briquetas elaboradas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	497,831	6	82,9719	24891,57	0,0000
Intra grupos	0,04666	14	0,00333		
Total (Corr.)	497,878	20			

CV: 0,34 %

En la Tabla 16 se demostró mediante la prueba de tukey, que si existen diferencias significativas entre todos los tratamientos de la presente investigación.

Tabla 16

Prueba de rango múltiple de Tuckey ($p < 0,05$) para el contenido de humedad de las briquetas

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T1	3	12,566	a
T6	3	12,966	b
T5	3	14,566	c
T3	3	15,266	d
T2	3	15,566	e
T4	3	19,733	f
T7	3	27,566	g

Nota. Las medias que no comparten letra son estadísticamente diferentes

- Índice de friabilidad

En la Figura 15 del índice de friabilidad de los tratamientos, se observa una considerable variabilidad en los valores. El tratamiento T5 presenta el valor más alto de friabilidad, con 100, lo que indica una baja resistencia mecánica y mayor susceptibilidad a la ruptura de las briquetas. En contraste, el tratamiento T1 tiene los valores más bajos con 50; lo que sugiere una mayor resistencia y estabilidad. Otros tratamientos, como el tratamiento T2 con 71,43 y el tratamiento T7 con 80; muestran un comportamiento intermedio, con valores relativamente altos de friabilidad.

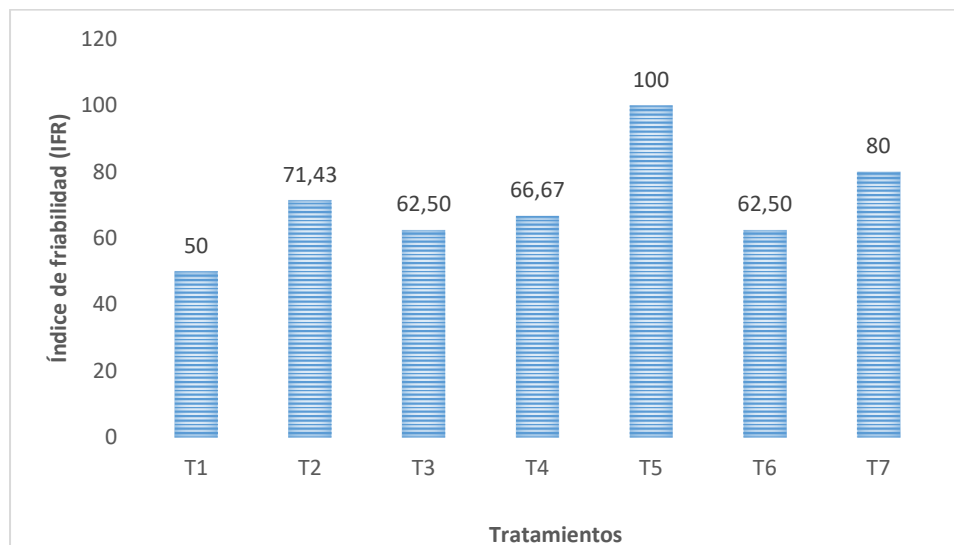


Figura 15

Índice de friabilidad de las briquetas en los 7 tratamientos

El Análisis de varianza aplicado al contenido de humedad, presentado en la Tabla 17 demostró mediante el análisis de varianza que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, debido a que el valor de significancia ($p = 0,0000$) es menor a 0,05.

Tabla 17

Análisis de varianza del Índice de friabilidad para los tratamientos de las briquetas elaboradas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4 585,57	6	764,262	200 118,58	0,0000
Intra grupos	0,05346	14	0,00381		
Total (Corr.)	4 585,63	20			

CV: 0,09 %

En la Tabla 18 se demostró mediante la prueba de tukey, que no existen diferencias significativas entre los tratamientos T3 y T6. Por otro lado, los demás tratamientos si obtuvieron diferencias significativas, evidenciando diferencias en el índice de friabilidad entre los tratamientos evaluados.

Tabla 18

Prueba de rango múltiple de Tuckey ($p < 0,05$) para el índice de friabilidad de las briquetas

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T1	3	50,033	a
T3	3	62,466	b
T6	3	62,466	b
T4	3	66,673	c
T2	3	71,433	d
T7	3	80,033	e
T5	3	100,067	f

Nota. Las medias que no comparten letra son estadísticamente diferentes

- Contenido de cenizas

En la Figura 16 se evidencia que los tratamientos con mayor porcentaje de cenizas (15 %) corresponden a aquellos que tuvieron una combustión completa. Por otro lado, los tratamientos con bajo contenido de cenizas (entre 1 % y 2,5 %) reflejan una combustión incompleta, lo que significa que estas briquetas no lograron prender completamente.

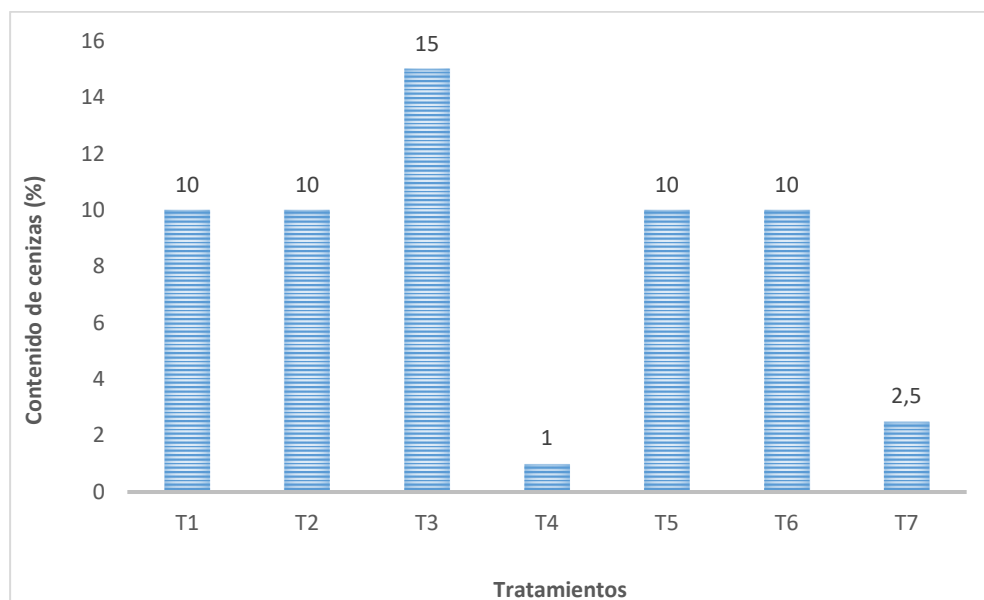


Figura 16

Contenido de ceniza de las briquetas en los 7 tratamientos

En la Tabla 19 del Análisis de varianza para el contenido de cenizas, se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, debido a que el valor de significancia ($p = 0,0000$) es menor a 0,05.

Tabla 19

Análisis de varianza del contenido de cenizas para los tratamientos de las briquetas elaboradas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	432,426	6	72,071	21 621,29	0,0000
Intra grupos	0,0466667	14	0,0033		
Total (Corr.)	432,472	20			

CV: 0,68 %

En la Tabla 20 se demostró mediante la prueba de tukey, que no existen diferencias significativas entre los tratamientos T1,T2, T5 y T6. Por otro lado, los demás tratamientos si obtuvieron diferencias significativas, evidenciando diferencias en el contenido de cenizas entre los tratamientos evaluados.

Tabla 20

Prueba de rango múltiple de Tuckey ($p < 0,05$) para el contenido de cenizas de las briquetas

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T4	3	1,0333	a
T7	3	2,4666	b
T1	3	10,033	c
T5	3	10,033	c
T6	3	10,033	c
T2	3	10,033	c
T3	3	15,033	d

Nota. Las medias que no comparten letra son estadísticamente diferentes

5.1.2 Determinación de la proporción óptima de mezcla de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo que permita obtener briquetas con las mejores propiedades fisicoquímicas y energéticas

- Tiempo de encendido

En la Figura 17 se presenta el comportamiento del tiempo de encendido según los tratamientos evaluados. Se observa que los tratamientos T4 y T7, tuvieron tiempos significativamente menores (por debajo de 0,5 minutos). Esto indica que, en estos tratamientos, solo una pequeña parte de la briketa se encendió durante el tiempo registrado, es decir, la combustión no ocurrió de manera completa.

Por otro lado, los tratamientos con tiempos de encendido más altos (cerca de 3 minutos) indican que la briqueta se encendió completamente y se mantuvo encendida por un tiempo suficiente para permitir la combustión total.

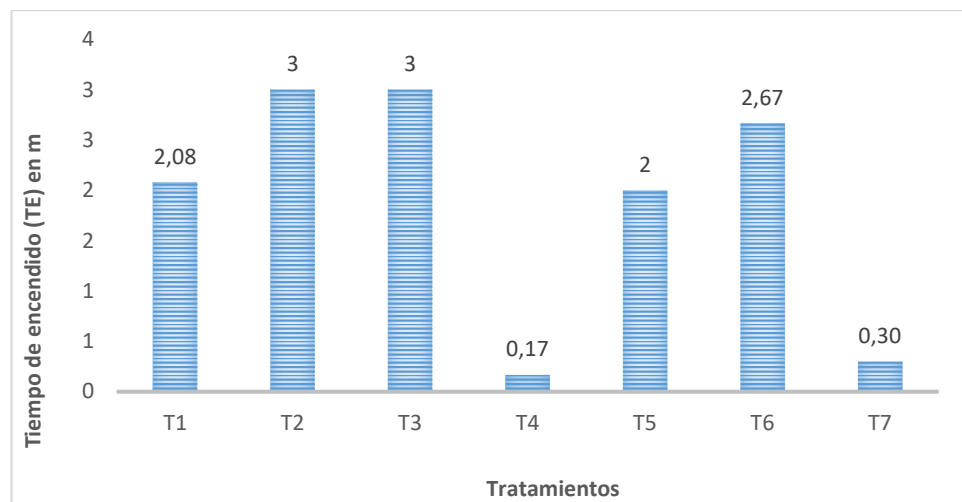


Figura 17

Tiempo de encendido en minutos de las briquetas en los 7 tratamientos

En la Tabla 21 del Análisis de varianza para el tiempo de encendido se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, debido a que el valor de significancia ($p = 0,0000$) es menor a 0,05.

Tabla 21

Análisis de varianza del tiempo de encendido en minutos para los tratamientos de las briquetas elaboradas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	26,316	6	4,386	3 029,81	0,0000
Intra grupos	0,0202	14	0,0014		
Total (Corr.)	26,336	20			

Cv: 1,88 %

En la Tabla 22 se demostró mediante la prueba de tukey, que no existen diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T5, así como los tratamientos T2 y T3. Por otro lado, los demás tratamientos si obtuvieron diferencias significativas, evidenciando diferencias en el tiempo de encendido entre los tratamientos evaluados.

Tabla 22

Prueba de rango múltiple de Tuckey ($p < 0,05$) para el tiempo de encendido de las briquetas

Tratamientos	Casos	Media	Grupos homogéneos
T4	3	0,1666	a
T7	3	0,3033	b
T5	3	2,0333	c
T1	3	2,0833	c
T6	3	2,6733	d
T3	3	3,0333	e
T2	3	3,0333	e

Nota. Las medias que no comparten letra son estadísticamente diferentes

- **Tiempo de combustión**

En la Figura 18 se observa un tiempo de combustión de 5 y 5,8 minutos, indicando que las briquetas lograron alcanzar la temperatura de ebullición del agua. En ese sentido, dichos tratamientos evidencian una duración de combustión suficiente para proporcionar el calor requerido para la ebullición. No obstante, los tratamientos que registraron valores 0 no consiguieron llevar el agua a ebullición, indicando que estas briquetas no produjeron suficiente calor para calentar el agua de su temperatura ambiente a su temperatura de ebullición.

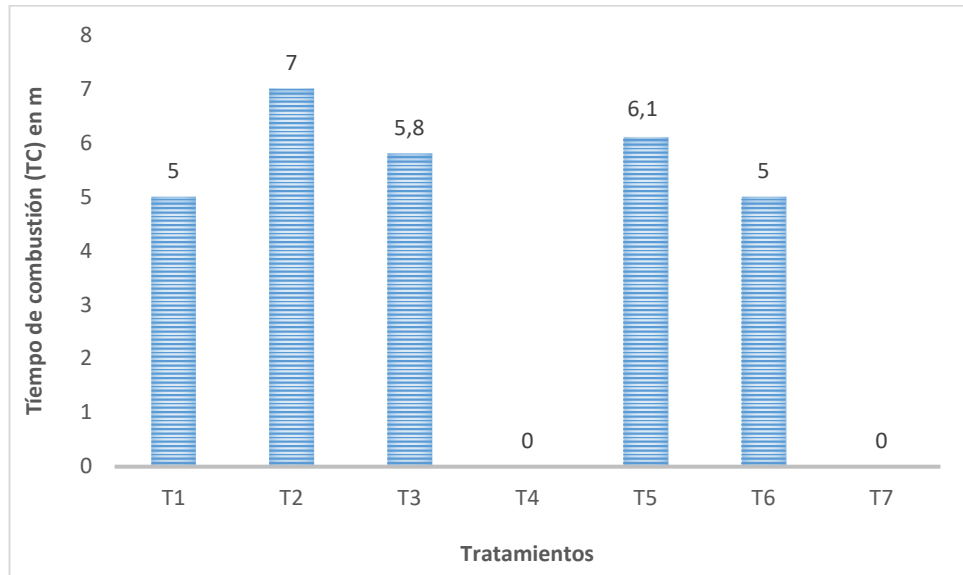


Figura 18

Tiempo de combustión en minutos de las briquetas en los 7 tratamientos

En la Tabla 23 del análisis de varianza para tiempo de combustión se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, debido a que el valor de significancia ($p = 0,0000$) es menor a 0,05.

Tabla 23

Análisis de varianza del tiempo de combustión en minutos para los tratamientos de las briquetas elaboradas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	152,598	6	25,433	10 681,87	0,0000
Intra grupos	0,03333	14	0,0024		
Total (Corr.)	152,631	20			

Cv: 1,29 %

En la Tabla 24 se demostró mediante la prueba de tukey, que no existen diferencias significativas entre los tratamientos T4 y T7, así como los tratamientos T1 y T6. Por otro lado el T5 si se diferenció significativamente de los demás tratamientos con una media de 6,1333 m.

Tabla 24

Prueba de rango múltiple de Tuckey ($p < 0,05$) para el tiempo de combustión de las briquetas

Tratamientos	Casos	Media	Grupos homogéneos
T7	3	0	a
T4	3	0	a
T6	3	5,0333	b
T1	3	5,0333	b
T3	3	5,7667	c
T5	3	6,1333	d
T2	3	7,0333	e

Nota. Las medias que no comparten letra son estadísticamente diferentes

- Velocidad de combustión

En la Figura 19 de la velocidad de combustión, se observa que los tratamientos con valores mayores (7,14 – 7,46 g/min) indican que las briquetas lograron una combustión rápida, consumiendo una mayor cantidad de combustible por minuto. Los tratamientos con valores de 0 indican que no hubo combustión, no generaron suficiente calor para consumir el combustible de manera eficiente, debido a una combustión incompleta o insuficiente. Esto se observa en los tratamientos T4 y T7 que no lograron generar una velocidad de combustión adecuada.

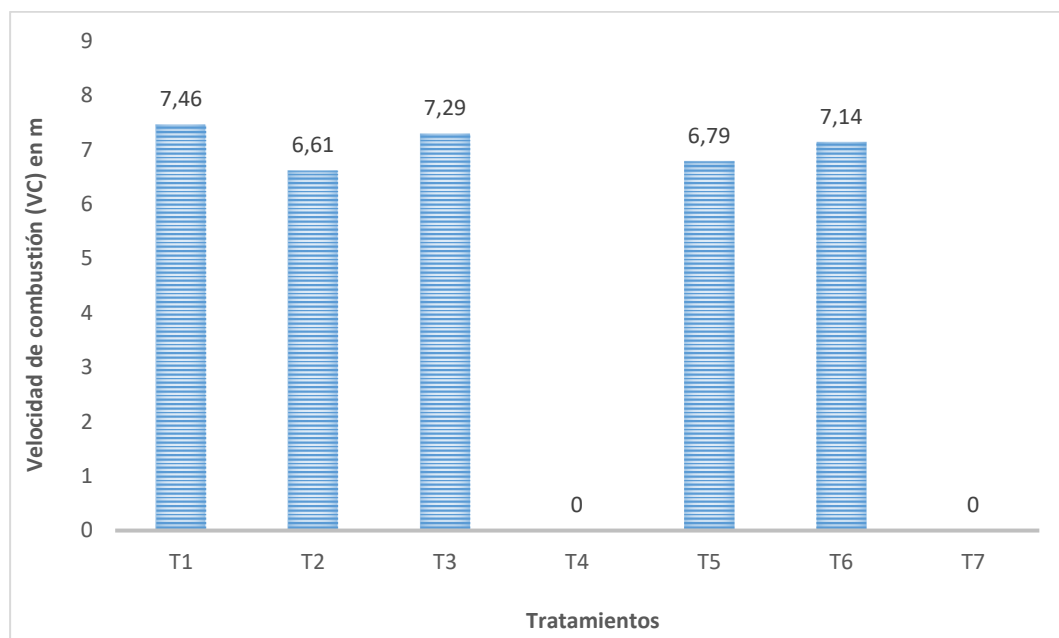


Figura 19

Velocidad de combustión en minutos de las briquetas en los 7 tratamientos

En la Tabla 25 del Análisis de varianza para la velocidad de combustión se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, debido a que el valor de significancia ($p = 0,0000$) es menor a 0,05.

Tabla 25

Análisis de varianza de la velocidad de combustión en minutos para los tratamientos de las briquetas elaboradas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	215,578	6	35,9297	75 452,41	0,0000
Intra grupos	0,00667	14	0,00058		
Total (Corr.)	215,585	20			

Cv: 0,48 %

En la Tabla 26 se demostró mediante la prueba de tukey, que no existen diferencias significativas entre los tratamientos T4 y T7. Por otro lado los tratamientos restantes si obtuvieron diferencias significativas.

Tabla 26

Prueba de rango multiple de Tuckey ($p < 0,05$) para la velocidad de combustión de las briquetas

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T4	3	0	a
T7	3	0	a
T2	3	6,64	b
T5	3	6,7933	c
T6	3	7,1433	d
T3	3	7,2933	e
T1	3	7,4733	f

Nota. Las medias que no comparten letra son estadísticamente diferentes

- Poder calorífico

En la Figura 20 correspondiente al poder calorífico se aprecia que los tratamientos con valores más elevados (3000 - 4500 kcal/kg) presentan un mayor desempeño energético. Estos tratamientos, como el tratamiento T1 y T6, muestran la capacidad de las briquetas para generar más calor. En contraste, los tratamientos con valor 0 (como en los tratamientos T4 a T7) indican que no se generó suficiente poder calorífico.

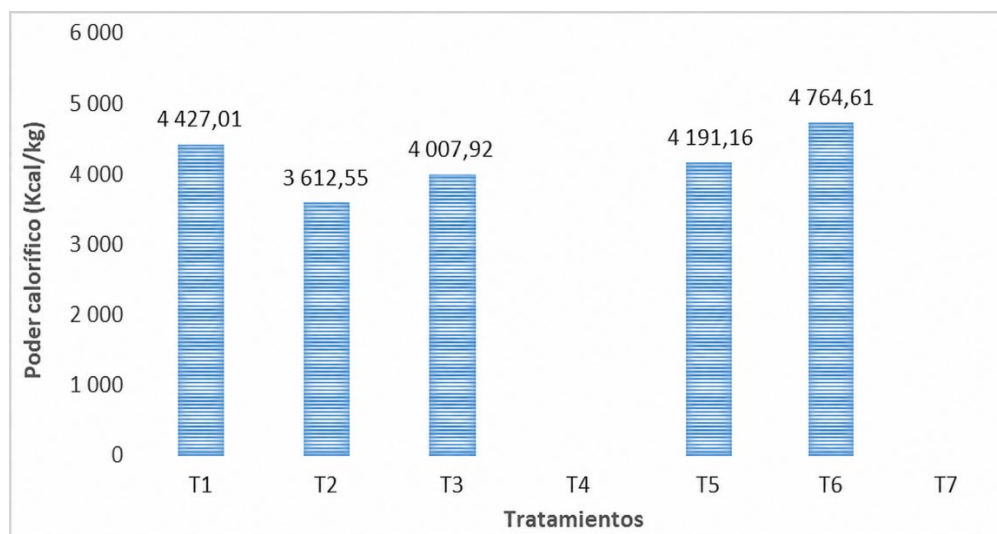


Figura 20

Poder calorífico de las briquetas en los 7 tratamientos

En la Tabla 27 se demostró mediante la prueba de kruskal-Wallis, que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en el poder calorífico de las briquetas elaboradas, pudiendo afirmar ellos con un 95 % de confianza.

Tabla 27

Prueba de kruskal-Wallis para el poder calorífico de las briquetas

Prueba	Poder calorífico
N total	21
Estadística de prueba	19,800
Grados de libertad	6
Sig. asintótica	0,003

Tras analizar los distintos tratamientos con variaciones en las proporciones de estiércol de cuy, poda de olivo y los demás aditivos como almidón de papa y aserrín, se observa el impacto de estas mezclas en diversas características físico-químicas como densidad, contenido de humedad, índice de friabilidad, contenido de cenizas, tiempo de encendido, combustión, velocidad de combustión y poder calorífico.

Se observó que los tratamientos con poca proporción de almidón de papa (especialmente los tratamientos T1, T3, T5 y T6) alcanzaron valores elevados de poder calorífico (superiores a 4000 kcal/kg), lo cual resulta favorable para mejorar el desempeño energético de las briquetas. Además, estos tratamientos lograron un equilibrio adecuado en términos de densidad (0,28 - 0,29 g/cm³), con valores de contenido de cenizas bajos

(10 %) y el contenido de humedad de esos tratamientos tienen bajos valores desde 12,6 % a 14,6 %.

Por otro lado, los tratamientos que contenían mayor almidón de papa no fueron óptimos, ya que no lograron prender completamente, presentaron menos poder calorífico, y no alcanzaron la temperatura de ebullición en el tiempo de combustión. Sin embargo, estos tratamientos mostraron una alta densidad.

En cuanto a los tiempos de encendido, se observó que los tratamientos con bajos valores en el tiempo (menos de 0,5 minutos) indican que solo una pequeña parte de la briqueta se encendió. Por otro lado, los tratamientos con tiempos cercanos de 3 minutos muestran que las briquetas lograron un encendido completo como los tratamientos T1-T3 y T5-T6.

Respecto a los tiempos de combustión, los tratamientos con tiempos más largos (entre 5 y 7 minutos) evidencian que las briquetas aportaron energía térmica suficiente para llevar el agua hasta su punto de ebullición, tal como se observa en los tratamientos (T1 al T3) y (T5 y T6), en contraste los tratamientos con valor 0 no lograron alcanzar la ebullición.

En relación con la velocidad de combustión, se observó que los tratamientos con valores más altos (6,61 – 7,46 g/min) generaron una combustión rápida, consumiendo más combustible por minuto como los tratamientos (T1 al T3) y (T5 y T6), mientras que los tratamientos con valor 0 indican que no hubo combustión.

5.1.3 Caracterización del comportamiento térmico en la cocción de alimentos de las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo

En la Figura 21 se muestra los tiempos de cocción con briquetas vs el tiempo de cocción con leña de chañar usando una papa tumbay como método de prueba. Los tratamientos T2 y T5 de las briquetas tienen los tiempos más altos con 12,1 y 13,1 minutos, respectivamente, mientras que el tratamiento T4 y T7 tiene un tiempo de 0 minutos, indicando que las briquetas no lograron encenderse. Los tiempos de cocción con leña de chañar oscila entre 25 a 40 minutos.

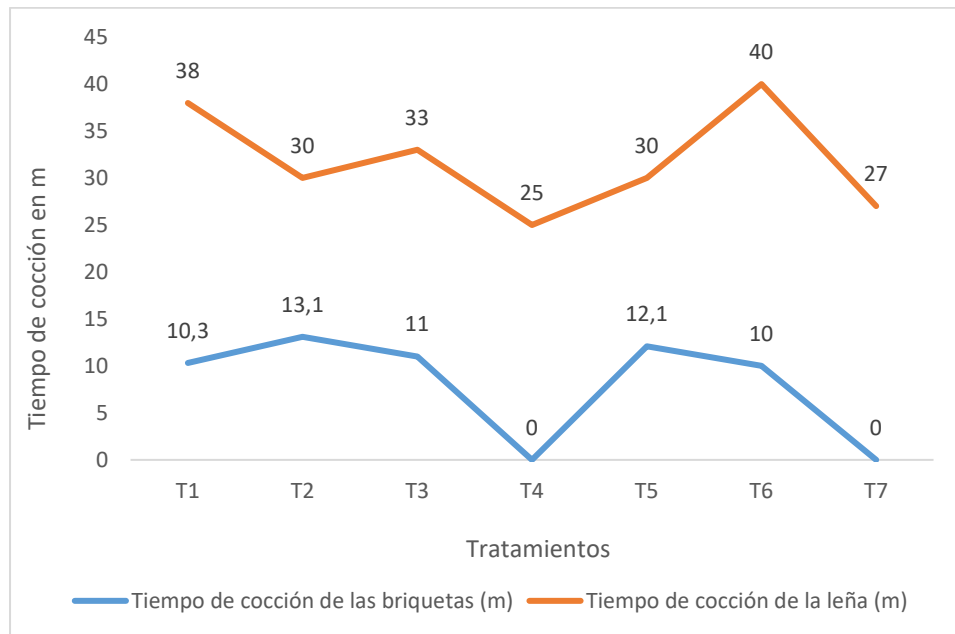


Figura 21

Gráfico del tiempo de cocción del alimento seleccionado frente a las briquetas y la leña de chañar

En la Tabla 28 se presentan los resultados de la prueba U de Mann-Whitney aplicada para comparar el tiempo de cocción entre las briquetas realizadas en la investigación y la leña de chañar. Se obtuvo un valor de significancia de 0,002; lo cual indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos ($p < 0,05$). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el tipo de combustible influye significativamente en el tiempo de cocción.

Tabla 28

Prueba U de Mann-Whitney para el tiempo de cocción entre las briquetas realizadas y la leña de chañar

Prueba	Tiempo de cocción
U de Mann-Whitney	49,000
W de Wilcoxon	77,000
Z	3,137
Sig. asintótica (bilateral)	0,002
Significación exacta (bilateral)	0,001

En la Figura 22 se presenta el diagrama de cajas y bigotes correspondiente al tiempo de cocción del alimento seleccionado utilizando briquetas y leña de chañar. Se observa que la mediana del tiempo de cocción para las briquetas es considerablemente menor en comparación con la leña, evidenciando una mayor eficiencia en el proceso de cocción. Asimismo, se aprecia una menor dispersión en los datos de las briquetas, mientras que la leña presenta mayor variabilidad en los tiempos registrados.

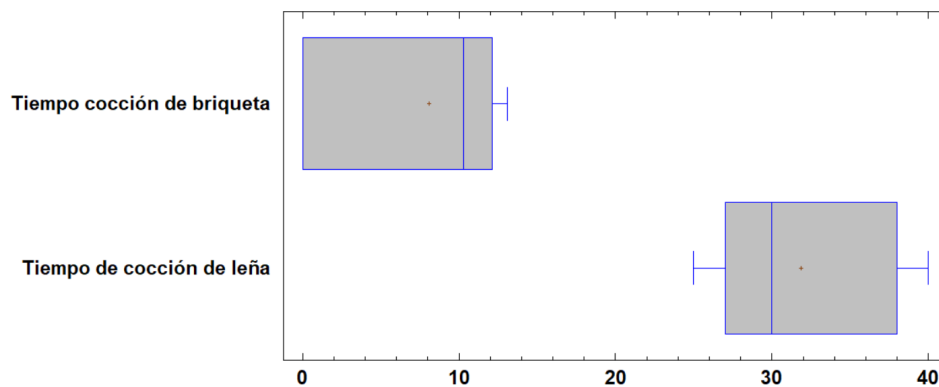


Figura 22

Diagrama de cajas y bigotes del tiempo de cocción del alimento seleccionado frente a las briquetas y la leña de chañar

5.2 Discusión de resultados

5.2.1 Discusión de las características fisicoquímicas de briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo

Caracterización fisicoquímica de las briquetas

El objetivo del presente estudio fue evaluar las características fisicoquímicas de briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy, residuos de poda de olivo, almidón y aserrín, con el fin de identificar cómo la variación en la proporción de estos componentes influye en propiedades clave del biocombustible sólido. Los resultados obtenidos evidencian que la formulación de la mezcla ejerce una influencia directa sobre parámetros

como densidad, contenido de humedad, friabilidad y contenido de cenizas, los cuales se encuentran interrelacionados y condicionan el comportamiento físico y térmico de las briquetas.

Densidad

La densidad constituye uno de los parámetros más relevantes en la evaluación de briquetas, ya que refleja el grado de compactación del material y la eficiencia del proceso de densificación. En el presente estudio se observó que la densidad de las briquetas varió entre 0,24 g/cm³ y 0,37 g/cm³, mostrando una tendencia clara a incrementarse conforme aumenta la proporción de almidón en la formulación.

Este comportamiento sugiere que el almidón desempeña un rol fundamental como agente aglutinante dentro de la matriz de la briketa, favoreciendo la cohesión entre partículas y reduciendo los espacios vacíos del material. Este resultado coincide con lo señalado por Kaliyan y Morey (2009), quienes indican que los aglutinantes ricos en polisacáridos incrementan la densidad aparente de los biocombustibles densificados al mejorar las fuerzas de unión intermolecular durante la compactación. De manera similar, Mitchual et al. (2013) explican que el almidón, al hidratarse y gelatinizar durante el mezclado y prensado, forma una matriz continua que envuelve las partículas lignocelulósicas, aumentando la cohesión estructural del material.

Por el contrario, los tratamientos con menor proporción de almidón presentaron densidades más bajas, particularmente aquellos con mayor presencia de poda de olivo y aserrín. Este comportamiento puede atribuirse a la naturaleza fibrosa de los materiales lignocelulósicos, los cuales generan una estructura interna más porosa dentro de la briqueta. Hamid et al. (2016) señalan que la estructura celular de las biomásas lignocelulósicas produce una mayor porosidad inherente, lo que tiende a reducir la densidad aparente del material densificado. En la misma línea, Karunanithy et al. (2012) indican que la porosidad se relaciona inversamente con la densidad, debido a que una mayor presencia de vacíos internos disminuye el grado de compactación del biocombustible.

Resultados similares han sido reportados por Gonzáles (2025), quien obtuvo densidades entre 0,25 y 0,50 g/cm³ en briquetas elaboradas con residuos lignocelulósicos en Tacna, indicando que valores superiores a 0,30 g/cm³ reflejan una adecuada cohesión interna del material.

En comparación con los resultados alcanzados en el presente estudio, Valderrama et al. (2007) reportan valores de densidad más elevados, comprendidos entre 0,50 y 0,58 g/cm³, en briquetas elaboradas con residuos sólidos orgánicos. En su estudio, la mayor densidad registrada (0,58 g/cm³) corresponde a briquetas formuladas con 70 % de

residuos sólidos orgánicos, 20 % de estiércol de cuy y 10 % de aserrín, mientras que densidades intermedias ($0,53 \text{ g/cm}^3$) se obtuvieron en mezclas con 70 % de residuos sólidos orgánicos, 20 % de estiércol de cuy, 5 % de aserrín y 5 % de cal. Asimismo, las briquetas que incorporaron 10 % de arcilla como aglutinante presentaron densidades menores, cercanas a $0,50 \text{ g/cm}^3$. Estos resultados evidencian que, en dicho estudio, la densidad se incrementa principalmente en función del tipo y proporción del aglutinante empleado, lo cual permite contrastar con la presente tesis, donde el almidón muestra una influencia más significativa sobre este parámetro físico.

Desde una perspectiva funcional, el nivel de densidad alcanzado también puede influir en el comportamiento de combustión del biocombustible. Una compactación excesiva puede reducir la porosidad interna de la briqueta, limitando la circulación de oxígeno durante la combustión. Por el contrario, estructuras más porosas favorecen la transferencia de aire y calor dentro del material, facilitando el encendido y la propagación de la combustión.

Contenido de humedad

El contenido de humedad es otro parámetro determinante en la calidad de las briquetas, debido a su influencia directa en el proceso de

combustión y en el poder calorífico del biocombustible. En la investigación se presentó valores comprendidos entre 12,6 % y 27,6 %, evidenciando una variación significativa en función de la composición de los tratamientos. De acuerdo con el criterio de referencia considerado ($CH < 15 \%$), se observa que los tratamientos T1, T5 y T6 cumplen con el límite establecido, mientras que los tratamientos con mayor contenido de almidón superan dicho valor, alcanzando el máximo en el T7 (27,6 %).

En los tratamientos con bajo contenido de almidón (13 g), el contenido de humedad se mantuvo mayormente en rangos cercanos al valor normativo, oscilando entre 12,6 % y 15,6 %, lo que evidencia una mejor estabilidad hídrica del biocombustible. Comportamiento similar es reportado por Sánchez y Pasache (2013), quienes al elaborar briquetas a partir de aserrín obtuvieron un contenido de humedad de 10 %, valor que permitió una adecuada combustión y aceptación por parte de los usuarios. De la misma forma, Pinchi (2018) reporta un contenido de humedad promedio de 12,5 % en briquetas elaboradas con residuos de aserrín y cascarilla de arroz, indicando que valores cercanos a este rango favorecen el desempeño energético.

Por otro lado, en los tratamientos con alto contenido de almidón (120 g) se registró un incremento considerable del contenido de humedad, alcanzando valores entre 19,7 % y 27,6%. Este comportamiento se explica

por la naturaleza hidrofílica del almidón, el cual tiende a retener agua dentro de la matriz de la briqueta. Resultados similares son reportados por Murcia y González (2020), quienes al emplear almidón como aglutinante observaron que, pese a obtener un buen rendimiento energético, el control del contenido de humedad fue determinante para lograr valores aceptables, reportando valores entre 5,16 % y 14,15 % en las briquetas con mejor desempeño tras un adecuado proceso de secado.

Asimismo, Belito et al. (2024) al analizar briquetas producidas con residuos de madera y utilizando almidón de papa como aglutinante, reportaron un contenido de humedad de 18,01 %, valor superior al límite recomendado, lo que confirma que el uso de almidón, sin un control riguroso del secado, puede incrementar la humedad final del biocombustible. Caso contrario es lo reportado por Tejada et al. (2021), quienes al trabajar con estiércol de alpaca e ichu obtuvieron un contenido de humedad de 10,9 %, demostrando que formulaciones con menor presencia de aglutinantes hidrofílicos permiten alcanzar valores más bajos de humedad.

En contraste, estudios internacionales como el de Boutros y Bernard (2016) reportan valores de humedad considerablemente mayores, alcanzando 26,79 % en residuos de poda de aceituna y 31,44 % en residuos de encina; los autores señalan que estos materiales pueden

emplearse como insumo para la elaboración de briquetas; sin embargo, requieren un acondicionamiento previo más exigente para reducir su humedad antes del proceso de densificación. Estos valores son comparables a los obtenidos en los tratamientos T14, T15 y T16 de la presente investigación, lo que evidencia que humedades elevadas pueden ser técnicamente viables, debido a la energía adicional necesaria para evaporar el agua durante la combustión.

De manera similar, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022) reporta un contenido de humedad de 15 % en briquetas elaboradas con semilla de aguaje y aserrín, valor límite que coincide con el umbral considerado en esta investigación. En la misma línea, Mendoza et al. (2020) obtuvieron briquetas con contenidos de humedad cercanos a 10,7 %, señalando que la selección apropiada de los insumos y el control del procedimiento de secado son determinantes para reducir la humedad final del biocombustible.

Índice de friabilidad

En los 7 tratamientos evaluados, el índice de friabilidad presentó un rango de 50 a 100, cumpliendo en todos los casos con el criterio mínimo $IFR \geq 50$. Los valores máximos (100) se obtuvieron en el tratamiento T5 (mezclas: 40 g estiércol; 27 g poda; 13 g almidón y 34 g aserrín), lo que

indica una mayor resistencia al desmoronamiento por impacto/manipulación respecto al resto de formulaciones.

Los IFR más bajos (50) se registraron en los tratamientos T1 y T3, lo que evidencia que la resistencia mecánica no está determinada exclusivamente por la cantidad de aglutinante, sino por la interacción entre las fracciones fibrosas, el material orgánico y el aglutinante presente en la mezcla. En este sentido, Cunuruna (2018) señala que la friabilidad constituye un parámetro crítico en la evaluación de briquetas, debido a que estas deben resistir impactos durante su manipulación y transporte. En su estudio sobre briquetas elaboradas con residuos del olivo y almidón, el autor optimizó la formulación para reducirla mediante una mezcla de 25 % de orujo, 60 % de poda y 15 % de aglutinante, logrando mejorar la resistencia frente a impactos.

Resultados aún mayores son reportados por Tejada et al. (2021) reportan un IFR = 166,7 para briquetas de estiércol de alpaca e ichu, destacando que dicho valor es superior al mínimo exigido por su criterio de evaluación y asociándolo con una adecuada resistencia durante el manejo. Esto evidencia que, dependiendo del tipo de biomasa (estiércoles, fibras herbáceas y residuos lignocelulósicos) y del sistema aglutinante, pueden alcanzarse índices de integridad mecánica aún mayores que los observados en la presente tesis.

Asimismo, Fonseca y Tierra (2011) reportan valores de friabilidad que se mantienen en condiciones favorables para briquetas de aserrín/cascarilla de arroz, siendo citados en estudios posteriores como referencia de integridad mecánica en briquetas de aserrín. De forma complementaria, García et al. (2020) reportan friabilidad < 1 en briquetas de aserrín aglutinadas con almidón de maíz (en otra escala de medición), lo que refuerza la idea de que los aglutinantes tipo almidón pueden mejorar el desempeño mecánico cuando la proporción de los componentes se encuentra adecuadamente balanceada.

Contenido de cenizas

El contenido de cenizas (CC) de las briquetas presenta valores comprendidos entre 2,5 % y 15 %, evidenciando diferencias directamente asociadas al grado de incineración alcanzado durante el ensayo de combustión. Los tratamientos que registran valores de CC entre 10 % y 15 % corresponden a las briquetas que logran una combustión completa, permitiendo que la totalidad del material orgánico se oxide y que el residuo obtenido represente adecuadamente la fracción mineral del biocombustible. En este grupo se encuentran el tratamiento T3 el cual alcanzó valores máximos de 15 % de cenizas, así como los tratamientos

T1, T2, T5 y T6 con valores de 10 %, configurando el rango más representativo del comportamiento real del material.

En contraste, los tratamientos con contenidos de cenizas bajos, como T4 (1 %) y T7 (2,5 %) no reflejan una menor carga mineral, sino que se asocian a combustión incompleta, donde solo una fracción de la briqueta logra encenderse. En estos casos, parte del material permanece sin incinerar, reduciendo artificialmente el residuo mineral final. Este fenómeno ha sido descrito por Adeleke et al. (2021), quienes indican que valores de cenizas inusualmente bajos pueden estar vinculados a deficiencias en la propagación de la llama y a una oxidación parcial del biocombustible. Sumado a esto, la significancia estadística del aserrín ($p < 0,05$) sugiere que su función va más allá de un simple relleno. Se hipotetiza que, al ser un material lignocelulósico de granulometría definida, crea microcanales que mejoran la oxigenación durante la combustión, favoreciendo la combustión completa y reduciendo los residuos carbonizados.

Al contrastar los resultados obtenidos con estudios previos, se observa que Pinchi (2018) reporta un contenido de cenizas de 5 % en briquetas elaboradas con aserrín y cascarilla de arroz, valor que se sitúa dentro del rango intermedio y corresponde a briquetas con combustión estable. De forma similar, Murcia y González (2020) obtienen 5 % de

cenizas en briquetas de borra de café y aserrín, indicando que este nivel es característico de biomásas lignocelulósicas que alcanzan una incineración uniforme. Estos valores resultan inferiores a los 10-15 % observados en los tratamientos completamente incinerados del presente estudio, lo que sugiere diferencias en la composición mineral y en el comportamiento térmico de los materiales empleados.

Por otro lado, contenidos de cenizas incluso menores en estudios como los de Mendoza et al. (2020) y Tejada et al. (2021), quienes obtienen 16,27 % y 2,07 % respectivamente. Estos valores se aproximan a los 2,5 % registrados en varios tratamientos del presente estudio; sin embargo, en dichos trabajos se señala que la combustión fue uniforme, lo que indica que la baja generación de cenizas responde a una menor fracción mineral del sustrato y no a una combustión incompleta, diferenciándose del comportamiento observado en los tratamientos con baja incineración del presente trabajo.

En contraste, estudios que incorporan componentes minerales adicionales o procesos de carbonización reportan incrementos notorios del contenido de cenizas. Valderrama et al. (2007) reportan valores de 8 %, 13 % y hasta 20 % de cenizas en briquetas elaboradas con residuos sólidos orgánicos, estiércol de cuy y adición de cal con arcilla, evidenciando el efecto directo de estos materiales inorgánicos sobre el residuo final. De

forma similar, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022) obtiene 9,25 % de cenizas en briquetas de carbón producidas con semilla de aguaje y aserrín, valor que se aproxima al rango 10 % observado en los tratamientos completamente incinerados del presente estudio.

En conjunto, estos resultados evidencian que el contenido de cenizas no depende únicamente de la composición mineral de las materias primas, sino también del comportamiento de combustión de las briquetas, el cual está condicionado por la estructura interna del material, la densidad y la porosidad generada por la interacción entre los componentes de la mezcla.

5.2.2 Discusión de la proporción óptima de mezcla de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo que permita obtener briquetas con las mejores propiedades fisicoquímicas y energéticas

A partir del análisis de los resultados experimentales, los tratamientos T1 y T6 destacan como las formulaciones con mejor desempeño energético, ya que presentan valores favorables en parámetros como tiempo de encendido, tiempo de combustión, poder calorífico y velocidad de combustión. Estas combinaciones representan un equilibrio entre componentes que cumplen funciones complementarias dentro de la briqueta. Este comportamiento también se relaciona con las propiedades fisicoquímicas observadas, donde una densidad adecuada,

bajos contenidos de humedad y cenizas, así como valores favorables del índice de combustión, contribuyen a generar condiciones apropiadas para el inicio y la estabilidad del proceso de combustión.

Se considera que, una menor cantidad de estiércol de cuy reduce la presencia de compuestos minerales que incrementan el contenido de cenizas y pueden limitar la eficiencia de la combustión. Al mismo tiempo, una menor proporción de poda de olivo podría evitar una compactación excesiva de la briqueta, mientras que una cantidad moderada de aserrín contribuiría a generar una estructura interna más porosa. Esta microestructura podría facilitar la difusión de oxígeno y la propagación de la llama durante la combustión inicial. Asimismo, una cantidad excesiva de almidón de papa como aglutinante podría incrementar la compactación del material y reducir la porosidad interna de la briqueta, lo que limitaría la circulación de oxígeno y, en consecuencia, afectaría negativamente el proceso de combustión.

Tiempo de encendido y Tiempo de combustión

El tiempo de encendido evidencia diferencias marcadas entre los tratamientos, lo que permite interpretar el grado de inicio efectivo de la combustión de las briquetas. Se observa que los tratamientos T4 y T7 presentan tiempos de encendido menores a 0,5 minutos, lo que indica que únicamente una fracción superficial de la briqueta logra encenderse, sin

que la llama se propague de manera uniforme hacia el interior. Este comportamiento se asocia a una combustión parcial, donde el calor generado no resulta suficiente para sostener el proceso de oxidación del material completo. Esto se explica en Huaranga (2023), indicando que tiempos de encendido excesivamente cortos pueden reflejar una ignición incompleta, más que un mejor desempeño energético.

Por el contrario, los tratamientos que registran tiempos de encendido cercanos a 3 minutos evidencian que la briqueta logra encenderse de forma completa, manteniéndose activa el tiempo suficiente para que la combustión se estabilice. Este comportamiento es coherente con lo reportado por López et al. (2016) y Mendoza et al. (2020) quienes muestran que briquetas con encendido progresivo con tiempos de 3,17 y 4,33 minutos, permiten una mejor transferencia de calor, lo que indica una ignición relativamente rápida del combustible.

En relación con el tiempo de combustión, se observa que los tratamientos con valores comprendidos entre 5 y 7 minutos logran alcanzar la temperatura de ebullición del agua, evidenciando un desempeño térmico adecuado. Estos hallazgos se alinean con lo señalado por Sánchez y Pasache (2013), quienes describen que briquetas con adecuada densidad y bajo contenido de humedad mantienen una combustión estable, permitiendo una transferencia efectiva de calor durante el proceso de

cocción. Este fenómeno ha sido descrito por Mendoza et al. (2020), señalando que, en briquetas elaboradas a partir de serrín de acacia y estiércol de bovino, se alcanzó la ebullición del agua en tiempos de 4,75 a 15 minutos, lo que indica una variabilidad considerable en la ignición del combustible, influenciada por la composición de las mezclas, reflejando una combustión sostenida y eficiente.

En contraste, los tratamientos que presentan tiempos de combustión igual a 0 no logran alcanzar la ebullición del agua, lo que indica que el calor generado resulta insuficiente para elevar la temperatura desde condiciones ambientales hasta el punto de ebullición. Este comportamiento ha sido descrito por Bastidas-Barranco et al. (2022), quienes explican que una combustión incompleta se asocia a mezclas con deficiente propagación de la llama, limitando la eficiencia térmica del biocombustible.

De manera complementaria, Tejada et al. (2021) y Rodríguez et al. (2025) evidencian que briquetas que alcanzan temperaturas elevadas y mantienen la combustión durante varios minutos presentan mejores condiciones para aplicaciones energéticas, ya sea en cocción doméstica o procesos térmicos, reforzando la importancia de evaluar conjuntamente el tiempo de encendido y el tiempo de combustión.

Velocidad de combustión

Los tratamientos con valores elevados de velocidad de combustión, comprendidos entre 6,61 y 7,46 g/min, evidencian una combustión rápida, caracterizada por un mayor consumo de combustible por unidad de tiempo. Este comportamiento indica que las briquetas generan suficiente energía para sostener el proceso de oxidación del material de manera continua. En contraste, los tratamientos T4 y T7 presentan valores de velocidad de combustión igual a 0, lo que evidencia la ausencia de una combustión efectiva. Este resultado indica que dichas briquetas no generan el calor necesario para consumir el combustible, situación asociada a una combustión incompleta o insuficiente, donde el encendido se limita a una fracción superficial sin propagación hacia el interior del material. Este comportamiento es consistente con lo descrito con Huaranga (2023) reporta que tratamientos con deficiente propagación de la llama muestran velocidades de combustión reducidas, afectando el rendimiento energético global.

Por otro lado, los valores de velocidad de combustión obtenidos en la presente investigación resultan significativamente mayores en comparación con lo reportado por López et al. (2016), quienes informan una velocidad de combustión de 0,12 g/min en briquetas de aserrín y cascarilla de café, asociada a una combustión lenta pero altamente

eficiente, con una eficiencia térmica del 92 %. Esta diferencia evidencia que una mayor velocidad de combustión no siempre implica mayor eficiencia, sino un consumo más acelerado del combustible.

En esa misma línea, Rodríguez et al. (2025) reportan velocidades de combustión de 0,13 g/min en briquetas de polvo de coque con almidón, valores considerablemente menores a los obtenidos en los tratamientos más reactivos del presente estudio, lo que sugiere una combustión más controlada y estable. Asimismo, Bastidas-Barranco et al. (2022) señalan que briquetas con velocidades de combustión moderadas presentan rendimientos energéticos comparables a la leña, destacando la importancia del equilibrio entre rapidez de combustión y estabilidad térmica. En este sentido, los resultados reportados por Mendoza et al. (2020) evidencian que la velocidad de combustión de las briquetas varía entre 9,2 y 10,5 g/min según la proporción de la mezcla, observándose una disminución progresiva a medida que aumenta el contenido de estiércol de bovino.

Cunuruna (2023) identifica que briquetas elaboradas con 82 % de poda de olivo, 10 % de orujo y 8 % de aglutinante presentan un comportamiento térmico adecuado, asociado a una velocidad de combustión suficiente para optimizar el poder calorífico, sin un consumo excesivamente acelerado del material. Este comportamiento contrasta con

los tratamientos de velocidad nula del presente estudio, donde la combustión no se consolida.

De igual manera, tesis como las de Valderrama et al. (2007) y Tejada et al. (2021) evidencian que la presencia de estiércol de cuy en determinadas proporciones favorece una combustión más estable, aunque con velocidades moderadas, debido a una liberación de energía más lenta.

Poder calorífico

En el gráfico del poder calorífico se observa una marcada variabilidad entre los tratamientos, evidenciándose valores elevados en los tratamientos T1 y T6, con registros mayores a 4 000 kcal/kg, mientras que otros tratamientos presentan valores cercanos a 0 kcal/kg, lo que indica que no se generó la suficiente energía térmica debido a la ausencia de combustión efectiva

Los tratamientos que alcanzan valores elevados de poder calorífico reflejan que la briqueta logra una combustión efectiva, liberando energía suficiente para ser considerada como un biocombustible sólido viable. Los resultados obtenidos se ubican dentro del rango señalado por Sánchez y Pasache (2013), quienes obtienen 4 728 kcal/kg en briquetas de aserrín con bajo contenido de humedad, así como por Pinchi (2018), quien reporta

5 025,06 kcal/kg en briquetas elaboradas con residuos de aserrín y cascarilla de arroz. La similitud de estos valores indica que las briquetas que sí logran encenderse completamente presentan un comportamiento energético comparable al de otros biocombustibles sólidos estudiados a nivel nacional.

Asimismo, Gallipoliti et al. (2012) reportan un poder calorífico de 4289,4 kcal/kg en briquetas elaboradas con aserrín blanco de pino, valor cercano a los máximos observados en el presente estudio. De forma similar, Huaranga (2023) registra valores entre 4 080,653 y 4 352,330 kcal/kg, destacando que mezclas con adecuada proporción de biomasa favorecen la liberación de energía durante la combustión. Estos antecedentes respaldan que los tratamientos con valores superiores a 3500 kcal/kg presentan un desempeño térmico adecuado.

Por el contrario, los tratamientos que muestran valores de poder calorífico igual a 0 no reflejan un bajo contenido energético del material, sino una combustión incompleta o inexistente. En estos casos, la briqueta no logra sostener la reacción de combustión, lo que impide la liberación de energía térmica medible. Este comportamiento se asocia a lo descrito por Mendoza et al. (2020), quienes indican que una combustión deficiente limita la liberación de energía, aun cuando el material posea potencial energético. De manera similar, Bastidas-Barranco et al. (2022) señalan que

la eficiencia térmica depende de que la combustión se desarrolle de forma continua y estable.

Por otro lado, estudios internacionales reportan valores superiores cuando se emplean materiales con alto contenido carbonoso o procesos específicos de compactación. Fonseca y Tierra (2011) obtienen hasta 28,41 MJ/kg (6 785 kcal/kg) en briquetas de aserrín con aglutinantes, mientras que Cuevas et al. (2019) reportan 18,8 MJ/kg (4 493,30 kcal/kg) en hueso de aceituna y 17,4 MJ/kg (4 157 kcal/kg) en poda de olivo. Estos valores, significativamente mayores, evidencian que el tipo de biomasa y su tratamiento influyen directamente en el poder calorífico alcanzado.

Valderrama et al. (2007) reportan un poder calorífico de 13826 kJ/kg (3 300 kcal/kg) en briquetas elaboradas con residuos sólidos orgánicos y estiércol de cuy, valor que se ubica próximo al límite inferior de los tratamientos con combustión efectiva del presente estudio. Asimismo, Pantoja (2024) obtiene 6 673,3 kcal/kg en briquetas de residuos de poda con aglutinantes, mientras que Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022) reporta valores aún mayores (16 874 J/g) en briquetas de semilla de aguaje y aserrín, evidenciando el efecto del tipo de materia prima y la densidad del combustible.

5.2.3 Discusión de la caracterización del comportamiento térmico en la cocción de alimentos de las briquetas elaboradas a partir del estiércol de cuy y residuos de poda de olivo

Tiempo de cocción

El tiempo de cocción se evalúa calentando 1 L de agua y cocinando una papa Tumbay con cada tratamiento de briqueta, comparándolo con leña de chañar. En el comportamiento de las briquetas se distinguen dos grupos: (i) tratamientos que sí completan la cocción (alcanzan ebullición y permiten cocer la papa), con tiempos entre 10,3 y 13,1 min (T1-T3 y T5-T6); (ii) tratamientos con 0 min (T4 y T7), donde no se alcanza la ebullición y, en consecuencia, no se desarrolla la cocción completa del alimento. Este patrón es consistente con la prueba de ebullición, en la que el tiempo depende de que la combustión se mantenga estable y transfiera suficiente calor al sistema hasta hervir el volumen evaluado (López Rivera et al., 2015).

En la comparación con leña de chañar, el tiempo de cocción se mantiene notablemente mayor, con valores aproximados entre 25 y 40 min. Bajo el mismo esquema de cocción (1 L + papa tumbay), cuando la briqueta logra combustión efectiva, los tiempos observados (10-12 min) son menores que los de la leña, lo cual sugiere una mayor rapidez en la transferencia de calor durante la etapa de calentamiento del agua y cocción del alimento. Un comportamiento comparable se reporta en

literatura que aplica el ensayo de ebullición: López et al. (2015) registran 15 min para hervir 1 L con briquetas (50 % aserrín fino y 50 % cascarilla de café), mientras que Rodríguez et al. (2025) reportan 20 min para calentar 1 L con briquetas de polvo de coque y almidón, evidenciando que el desempeño térmico se expresa directamente en el tiempo requerido para llevar el agua a ebullición.

Además, resultados donde las briquetas igualan o superan a la leña también se evidencian en otros estudios: Huaranga (2023) obtiene 14 min 27 s como tiempo total para encender y hervir 1 L con briquetas (mejor tratamiento), frente a 15 min 09 s con leña. En esa línea, Bastidas-Barranco et al. (2022) señalan que las briquetas pueden presentar rendimientos energéticos similares a la leña cuando la combustión es estable, reforzando que la diferencia entre tratamientos se explica principalmente por la continuidad del proceso de combustión.

Por otro lado, los tratamientos con 0 min indican que el encendido no se propaga hacia el interior del material o no se sostiene el tiempo suficiente para mantener el aporte de calor requerido para hervir 1 L de agua y cocer la papa huayro. En términos térmicos, una combustión incompleta o intermitente reduce la energía efectivamente transferida al recipiente, impidiendo alcanzar las condiciones de cocción (Mendoza et al., 2020). En síntesis, el tiempo de cocción confirma que solo una fracción

de los tratamientos presenta un desempeño funcional para uso doméstico, mientras que el resto falla en sostener la combustión, y que la leña de chañar demanda tiempos mayores (25-40 min) en el mismo ensayo.

CONCLUSIONES

Se evaluó la eficiencia energética de briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo, evidenciando que esta está directamente influenciada por sus características fisicoquímicas y energéticas. Entre los principales factores determinantes se identificaron el contenido de humedad y el poder calorífico, los cuales incidieron significativamente en el desempeño energético de las briquetas durante su combustión.

Se determinaron las características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas con estiércol de cuy y residuos de poda de olivo, evidenciándose que la formulación de la mezcla genera variaciones diferenciadas en densidad, contenido de humedad, índice de friabilidad y contenido de cenizas. La densidad varía entre 0,24 y 0,37 g/cm³, observándose un incremento significativo en los tratamientos con mayor proporción de almidón de papa, lo cual fue corroborado mediante el análisis de varianza, donde el almidón y el aserrín resultaron estadísticamente significativos ($p < 0,05$). El contenido de humedad oscila entre 12,6 % y 27,6 %, cumpliendo parcialmente con la normativa establecida ($CH < 15$ %), principalmente en los tratamientos con menor proporción de aglutinante. El índice de friabilidad presentó valores entre 50 y 100, cumpliendo en todos los casos con el criterio mínimo de aceptabilidad, lo que indica una adecuada resistencia mecánica para su manipulación. Asimismo, el contenido de cenizas se mantuvo dentro del rango permitido (<30 %), observándose valores más representativos en los tratamientos que lograron una combustión completa, lo que

confirma un comportamiento fisicoquímico adecuado para su uso como biocombustible sólido.

Por otro lado, se logran determinar las proporciones óptimas de mezcla de estiércol de cuy y residuos poda de olivo que permiten obtener briquetas con las mejores propiedades fisicoquímicas y energéticas, estableciéndose que las mezclas con menor adición de almidón de papa (los tratamientos T1, T5 y T6 especialmente el T6: 40g estiércol de cuy, 108g residuos de poda, 13g de almidón de papa y 34g de aserrín) presentaron el mejor desempeño integral. Estas formulaciones mostraron un equilibrio favorable entre densidad (0,24-0,29 g/cm³), bajo contenido de humedad (12,6-14,6 %), contenido de cenizas moderado (10 %) y un poder calorífico elevado (>4 000 kcal/kg).

Se logró caracterizar el comportamiento térmico de las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo durante la cocción de alimentos, evidenciándose un desempeño eficiente en términos de tiempo de cocción. Las formulaciones óptimas presentaron valores entre 10,3 y 13,1 minutos para la cocción de papa Tumbay, mientras que la leña de chañar registró tiempos entre 25 y 40 minutos, reflejando que las briquetas presentan mejores características térmicas, constituyéndose como una alternativa energética más eficiente frente a la leña tradicional.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que, en futuros estudios, se perfeccione el proceso de fabricación de briquetas mediante un control más riguroso de la presión de compactación y del periodo de secado, ya sea bajo condiciones naturales o con asistencia mecánica, a fin de disminuir la variabilidad en la densidad y el contenido de humedad. Un control más estricto de estas variables permitiría mejorar la estabilidad estructural de las briquetas y potenciar su desempeño energético durante la combustión.

Se sugiere evaluar el uso de otros tipos de aglutinantes naturales o combinaciones de estos, en proporciones menores a las empleadas en la presente investigación, a fin de mejorar el encendido y el poder calorífico de las briquetas sin incrementar excesivamente la densidad. Asimismo, se recomienda analizar mezclas con variaciones graduales en la proporción de estiércol de cuy y residuos poda de olivo para refinar la determinación de la formulación óptima.

Finalmente, se propone ampliar las pruebas de comportamiento térmico mediante ensayos repetitivos de cocción con diferentes tipos de alimentos y condiciones operativas, así como la evaluación del desempeño de las briquetas en estufas de mayor capacidad o de uso comunitario. Esto permitiría validar la aplicabilidad de las briquetas a mayor escala y fortalecer su potencial como alternativa energética sostenible frente a la leña tradicional en zonas rurales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeleke, A. A., Ikubanni, P. P., Orhadahwe, T. A., y Odusote, J. K. (2021). *Ash analyses of bio-coal briquettes produced using composite biomass: Mechanical and fuel property implications*. *Heliyon*, 7(2), e06122.
- Alarcón Solórzano, S. M. (2017). *Elaboración de briquetas a partir de desechos de tallos de rosas y papel reciclado*. [Universidad central de Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13003>
- Alami, S. (2010). *Aprovechamiento de hueso de aceituna: biosorción de iones metálicos* (Tesis doctoral, Universidad de Granada). Repositorio institucional. <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/6621/18935916.pdf?sequence=1>
- Albán, G. P. G. (2020). *Metodologías de investigación educativa (descriptivas, correlacionales, explicativas y otras)*. <http://recimundo.com/index.php/es/article/view/860>
- Arévalo Hijar, J. M. (2018). *Diseño de un sistema integrado para la producción de briquetas de biomasa a partir del aprovechamiento de la cascarilla de arroz en el distrito de San Hilarión, San Martín*. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/623483/AR%c3%89VALO_hj.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- ASTM International. (2002). *ASTM D440-86(2002): Standard test method of drop shatter test for coal*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0440-86R02>

- Ataucusi Flores, P. L. (2023). *Rendimiento y contenido energético de briquetas y carbón vegetal obtenido a partir de la mazorca de Teobroma cacao L. (cacao)*.
<https://hdl.handle.net/20.500.14292/2733>
- Athaillah, T. (2023). *Briquettes from a mixture of cow manure, rice husks, and other feedstocks: Effects on ash and combustion properties*. *JEENG Journal*.
 Recuperado de <https://www.jeeng.net/pdf-177194-98660?filename=BriquettesfromaMixture.pdf>
- Balseca-Sampedro, O. F., López-Ortiz, S. A., Viteri-Núñez, E. F., Analuisa-López, D. S., y Hernández-Gavilanes, E. V. (2018). *Elaboración, caracterización y posibles aplicaciones de briquetas de residuos de café (BORRA) como biocombustible sólido*. *Polo Del Conocimiento*, 3(7), 420.
<https://doi.org/10.23857/pc.v3i7.565>
- Bastidas-Barranco, M., Valera-Restrepo, R., y Serrano-Flórez, 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), 193–202. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000100193>
- Belito Huamani, E. E., Hernández Morillo, D., Montes Bujaico, S. K., Meza Mitma, P. M., Ospina Castro, L. R., Pariona Duran, S. Z., y Ramos Huaman, K. D. (2024). *Elaboración de biocombustibles (briquetas) a partir de residuos de madera de Polylepis incana (Queñual) en el distrito de Ahuaycha, Huancavelica*. *Revista Científica y Tecnológica FitoVida*, 3(2), 33–41.
<https://doi.org/10.56275/fitovida.v3i2.42>

- BNU-CEA. (2002). *Biomasa: Manual sobre energía renovable* (1a edición).
- Boutros, O., y Bernard, M. (2016). *Determination of physical and chemical properties of oak and olive tree residues for the production of briquettes*.
<https://scholarhub.balamand.edu.lb/handle/uob/2801>
- Briones Loor, D. J., y Chilán Mancilla, G. M. (2019). *Briquetas para la obtención de biomasa energética a partir de los residuos de maíz (Zea mays) en la comunidad San Miguel de Tres Charcos*.
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/8222964?show=ful>
- Carmona Cerda, R. J. (2013). *Caracterización de biomasa leñosa con fines energéticos disponible en Chile*. Universidad de Chile.
<https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/26170>
- Cartagena Cutipa, R., Rivera Herrera, H. J., Velásquez Ccosil, P. F., Falcón Peña, R. S., y Velarde Franco, A. del R. (2023). Evaluación del nivel de emisiones y poder calorífico en briquetas de residuos del olivar. *Universidad Privada de Tacna*. <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/852>
- Castells, X. E. (2005). *Tratamiento y valorización energética de residuos*.
- Castro-Maldonado, J. J., Gómez-Macho, L. K., y Camargo-Casallas, E. (2023). *La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI*. *Tecnura*, 27(75), 140-174.
<https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Castillo-Ruiz, F. J., Sola-Guirado, R. R., Castro-García, S., González-Sánchez, E. J., y Colmenero-Martínez, J. T. (2017). *Pruning systems to adapt traditional*

- olive orchards to new integral harvesters. Scientia Horticulturae*, 220, 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.043>
- Chávez Porras, Á., y Rodríguez González, A. (2016). *Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. Academia y Virtualidad*, 9(2), 90–107. <https://doi.org/10.18359/ravi.2004>
- Chiluisa, B., y Iván, E. (2017). *Efecto de la relación carbono/nitrógeno en el tiempo de descomposición del abono de cuy (Cavia porcellus), enriquecido*. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/75555d0d-9493-4e4c-8a3f-041d8ed22ac3>
- Costero, B., Teich, I., Taborda, R. J., Toro, A., Prenol, L., y Torres, L. (2021). *Diversidad intravarietal del cv. Manzanilla de olivo (Olea europaea L.) y genotipos selectos relacionados de la colección INTA- Catamarca y huertos de Cruz del Eje, Córdoba (Argentina). AgriScientia*, 38(2), 75–88. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v38.n2.30288>
- Cuevas, M., Martínez-Cartas, M. L., Pérez-Villarejo, L., Hernández, L., García-Martín, J. F., y Sánchez, S. (2019). *Drying kinetics and effective water diffusivities in olive stone and olive-tree pruning*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148118310036?via%3Dihub>
- Cunuruna Cruz, M. B. (2023). *Propiedades físicas de briquetas elaboradas con residuos del olivo. INGENIERÍA INVESTIGA*, 5. <https://doi.org/10.47796/ing.v5i0.832>

- Dinesha, P., Kumar, S., y Rosen, M. A. (2019). *Biomass Briquettes as an Alternative Fuel: A Comprehensive Review*. *Energy Technology*, 7(5).
<https://doi.org/10.1002/ente.201801011>
- Dirección regional de agricultura, y Gobierno regional de Tacna. (2018). *Producción y Exportación ACEITUNAS - 2018*.
- Escuder Marcos, C., y Viana Noguez, S. (2017). *Los alimentos y sus cocciones técnicas culinarias*.
- Falcón Peña, R. S., y Velarde Franco, A. del R. (2022). *Efectos del pretratamiento de biomasa sobre poder calorífico y nivel de emisiones de briquetas de residuos del olivar y orégano* [Universidad Privada de Tacna].
<http://hdl.handle.net/20.500.12969/2635>
- FAO. (2014). *Biomass briquetting: technology and practices* (Briquette component). Food and Agriculture Organization.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d80cfea6-5053-4be9-8db9-d5b44230c26a/content>
- Food and agriculture organization of the United Nations. (2024). *Crops and livestock products*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Fonseca Cuenca, E. G., y Tierra Tingo, L. F. (2011). *Desarrollo de un proceso tecnológico para la obtención de briquetas de aserrín de madera y cascarilla de arroz, y pruebas de producción de gas pobre* (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
<https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1883>

- Fona, Z. (2022). *Effect of pressuring time and number of holes on briquette combustion duration and rate*. *E-Jurnal PNL*. <https://ejurnal.pnl.ac.id/polimesin/article/view/2597>
- 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*.
- García Martín, J. F., Cuevas, M., Feng, C.-H., Álvarez Mateos, P., Torres García, M., y Sánchez, S. (2020). *Energetic valorisation of olive biomass: Olive-tree pruning, olive stones and pomaces*. *Processes*, 8(5), 511. <https://doi.org/10.3390/pr8050511>. MDPI
- Gonzáles Maquera, A. R. A. (2025). *Evaluación del contenido de humedad y propiedades físicas de briquetas elaboradas con residuos lignocelulósicos en Tacna*. *Ciencia y Educación*, 6(7.1), 6–15. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16282812>
- Gobierno regional de tacna. (2024). gob.pe. *Más de 2600 Agricultores Se Beneficiarán Con Proyecto Olivo*. <https://www.gob.pe/institucion/regiontacna/noticias/1000460-mas-de-2600-agricultores-se-beneficiaran-con-proyecto-olivo>
- Hamid, M. F., Idroas, M. Y., Ishak, M. Z., Zainal Alauddin, Z. A., Miskam, M. A., y Abdullah, M. K. (2016). *An experimental study of briquetting process of torrefied rubber seed kernel and palm oil shell*. *BioMed Research International*, 2016, Article 1679734. <https://doi.org/10.1155/2016/1679734>
- Hibbeler, R. C. (2016). *Engineering mechanics: Statics* (14th ed.). Pearson.

- Huaman Ramos, H., Ramirez Sucño, M. M., y Surichaqui Unchupaico, R. J. (2021). *Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche, Jauja - 2021*.
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/10655>
- Huaranga Bautista, A. W. (2023). *Evaluación de propiedades físicas y energéticas de briquetas elaboradas con residuos orgánicos como alternativa de valorización energética*, Lima Este.
<http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/6746>
- Huaytalla Galindo, B. J. (2019). *Identificar el potencial energético de la biomasa residual agrícola para su aprovechamiento como uso doméstico* [Universidad científica del sur].
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1261/TB-Huaytalla%20B.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ifa, L., Yani, S., Nurjannah, N., Darnengsih, D., Rusnaenah, A., Mel, M., Mahfud, M., y Kusuma, H. S. (2020). *Techno-economic analysis of bio-briquette from cashew nut shell waste*. *Heliyon*, 6(9), e05009.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05009>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1987). *NTC 2060: Briquetas combustibles para uso doméstico*.
<https://pdfcoffee.com/norma-briquetas-5-pdf-free.html>
- Instituto nacional de estadística e informática. (2022). *Micro datos: Base de datos*. Micro Datos: Base de Datos. <https://proyectos.inei.gob.pe/microdatos/>

- Kaliyan, N., y Morey, R. V. (2009). *Factors affecting strength and durability of densified biomass products*. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 337–359.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.005>
- Kajjak Castañeda, N. (2015). *Crianza tecnificada de cuyes* (Instituto nacional de innovación agraria, Ed.; Primera edición).
<https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/80bb83a5-3d24-4146-aaab-689970efe13b/content>
- Kpalo, S. Y., y Zainuddin, M. F. (2020). *Briquettes from agricultural residues; an alternative clean and sustainable fuel for domestic cooking in Nasarawa State, Nigeria*. *Energy and Power*, 10(2), 40–47.
<https://doi.org/10.5923/j.ep.20201002.03>
- Karunanithy, C., Wang, Y., Muthukumarappan, K., y Pugalandhi, S. (2012). Physiochemical characterization of briquettes made from different feedstocks. *Biotechnology Research International*, 2012, Article 165202.
<https://doi.org/10.1155/2012/165202>
- León, L., Casanova, D., Palma, J., y González, J. (2021). *Caracterización agromorfológica de plantas madre del banco de germoplasma de “olivo “ Olea europaea (Oleaceae) en la región Tacna*.
- Llenque Correa, L. F. (2022). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de biol a partir del estiércol de cuy*.
https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/18315/T018_70183920_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- López, J. D., Cajina, C. E., Ramírez, J. U., Reyes, E. A., Olivas, N. R., y Molina, L. D. (2016). *Evaluación de los parámetros físicos y químicos de las briquetas obtenidas con la maquina briquetadora construida en FAREMEstelí*. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 16, 3–14. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i16.2600>
- López, A., Maldonado, Y. G., Guardado, J. A., y Gallardo, S. A. (2018). *Determinación del poder calorífico de combustibles líquidos y sólidos*. Simposio de Metrología 2018, Centro Nacional de Metrología (CENAM), Querétaro, México.
- Martínez Pérez, F., y Gassinski, L. (2022). *La eficiencia energética y el papel del mantenimiento en la misma*. *Ingeniería Energética*, 43(2), 1–11. <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE>
- Mendoza Fandiño, J. M., González Doria, Y. E., Doria Oviedo, M., Pedroza Urueta, Á., y Ruiz Garcés, A. F. (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://doi.org/10.4067/S0718-33052020000300448>
- Mencarelli, A., Greco, R., Balzan, S., Grigolato, S., y Cavalli, R. (2023). Charcoal-based products combustion: *Emission profiles, health exposure, and mitigation strategies*. *Environmental Advances*, 13, 100420. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100420>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022). *Proyecto: Obtención de briquetas de carbón a partir de semilla de aguaje (Mauritia flexuosa) y aserrín, en la*

empresa ECOTEC CONSULTORES S.A.C. Revista AGROPERÚ, (24), 38–39.

<https://sistemaenlinea.proinnovate.gob.pe/modules/online/publicaciones/uploads/d1b3187ff1509972ef984b0afbc137ef03259a93>

Mitchual, S. J., Frimpong-Mensah, K., Darkwa, N. A., y Akowuah, J. O. (2013). *Briquettes from maize cobs and Ceiba pentandra at room temperature and low compacting pressure without a binder. International Journal of Energy and Environmental Engineering*. <https://doi.org/10.1186/2251-6832-4-38>

Molina de la Rosa, J. luis, Jimenez Herrera, B., Ruiz Coletto, F., García Zamorano, F., López Caballero, F., y Salmerón Rodríguez, E. (2010). *Agronomía y poda del olivar* (4ta edición). from https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337163120Agronomxa_y_Poda.pdf

Murcia Palacios, D. A., y González Vera, A. F. (2020). *Desarrollo de briquetas de borra de café y un aglomerante a diferentes composiciones porcentuales para ser utilizadas como combustible sólido alternativo*. Repositorio Institucional Fundación Universidad de América. <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7783>

Murray-Núñez, R., Orozco-Benítez, G., Martínez-Orozco, S., Avila-Ramos, F., Bautista-Trujillo, G., Carmona-Gasca, C., y Martínez-González, S. (2023). *Composición química del excremento entero, composta y lixiviado de la cama de Cuyes. Abanico Agroforestal*, 5. <https://doi.org/10.37114/abaagrof/2023.1>

Ordóñez Rivera, O. F. (2015). *Evaluación de la influencia de la formulación de combustibles sólidos densificados de aserrín de pino blanco (pinus*

pseudostrobilus lindl), reciclado de carbón activado y almidón de yuca (*manihot esculenta*), sobre las propiedades fisicoquímicas y fisicomecánicas de los combustibles sólidos densificados en general.
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/3697/1/Omar%20Fernando%20Ord%C3%B3%C3%B1ez%20Rivera.pdf>

Ortiz-Oblitas, P., Florián-Alcántara, A., Estela-Manrique, J., Rivera-Jacinto, M., Hobán-Vergara, C., y Murga-Moreno, C. (2021). *Caracterización de la crianza de cuyes en tres provincias de la Región Cajamarca, Perú. Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 32(2), e20019.
<https://doi.org/10.15381/rivep.v32i2.20019>

Osejos-Merino, M. A., Jaramillo-Véliz, J. J., Merino-Conforme, M. V., Quimis-Gómez, A. J., y Alcívar-Cobeña, J. L. (2018). *Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa – Ecuador. Dominio de Las Ciencias*, 4(1), 709.
<https://doi.org/10.23857/dc.v4i1.788>

OSINERGMIN. (2025). *Biomasa: Energía renovable y proceso fotosintético*.
<https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/biomasa>

Pantoja Camacho, M. J. (2024). *Aprovechamiento de residuos de poda de la universidad autónoma de occidente para la elaboración de briquetas como biocombustibles sólidos con aglomerantes de origen renovable*.
<https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/0886979a-b775-4d93-bf0e-3994f6f633cd/content>

- Prada Ospina, R. (2012). Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos biodegradables: el caso del almidón residual derivado de la industrialización de la papa. In *Innovación y nuevas tecnologías* (pp. 182–192). <https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revista/article/view/575>
- Pinchi, S. U. (2018) *Cuantificación de emisiones de gases en la combustión de briquetas elaboradas a base de residuos de aserrín de capirona, cascarilla de arroz y residuos sólidos orgánicos*. Universidad Nacional de Ucayali. Repositorio UNU-Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14621/3563>
- Ramos, L. A. G. (2021). *Fabricación y evaluación de eficiencia y emisiones de briquetas*. Zamorano Digital. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a3dadaa3-bd82-4154-9d66-cdb320ae8967/content>
- Rahmaisanti, A. (2024). *Physicochemical and energy properties of biomass briquettes with different feedstocks*. Jurnal Ilmu Ternak. <https://journals.unpad.ac.id/jurnalilmuternak/article/download/56662/24751>
- Renovetec. (2010). *Centrales termoeléctricas de biomasa*. Centrales Termoeléctricas de Biomasa. <https://renovetec.com/courses/centrales-termoelectricas-de-biomasa/#:~:text=Centrales%20termoel%C3%A9ctricas%20de%20biomasa.%20A%20lo%20largo,que%20forman%20parte%20de%20una%20planta%20habitual>
- Rodríguez, Y., Segura-Peña, S., Segura-Peña, J., y Franco, C. G. (2025). *Producción de briquetas de residuos de polvo de coque como combustible*

- alternativo para la industria*. Revista de la Universidad Militar Nueva Granada – RCIN, Artículo 7475. <https://doi.org/10.18359/rcin.7475>
- RTRES. (2019). *Briquetadora MPP*. <https://www.rtres.es/producto/briquetadora/>
- San Román Suárez, T. A. (2019). *Rendimiento de frijol (Phaseolus vulgaris L.) con cuatro fuentes de abonos orgánicos en el distrito Nuevo Imperial, Cañete*. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4023>
- Sánchez, E. A., y Pasache, R. (2013). *Análisis de caso de estudio del uso de briquetas de aserrín en familias que usan leña y carbón en la zona de Piura y Sullana – Perú* (Tesis de licenciatura). Universidad de Piura. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/123456789/1883>
- Sánchez Chavarría, J. S., Gutiérrez González, C. J., y Bermúdez Arias, V. M. (2023). *Estudio comparativo de la eficiencia térmica y poder calorífico de briquetas hechas de residuos sólidos reciclables para su utilización como combustible en la cocina limpia ONIL con respecto a la leña de madero negro*. Universidad Nacional de Ingeniería. <https://ribuni.uni.edu.ni/5268/1/16469.pdf>
- Soares, L. S., Moris, V. A. S., Yamaji, F. M., y Paiva, J. M. F. (2015). *Utilización de residuos de borra de café y serrín en la fabricación de briquetas y evaluación de sus propiedades*. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620150002.0055>
- Tarka, A. J. (2023). *Evaluation of physical and combustion characteristics of biomass briquettes*. WJAETS. <https://wjaets.com/sites/default/files/WJAETS-2023-0233.pdf>
- Telles Velasquez, R. del P. (2010). *Evaluación de índices productivos en la crianza del cuy (cavia porcellus) en las granjas del valle viejo de tacna 2009*.

<https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e68be616-f82b-4960-9ab0-10f9b4583d81/content>

- Tejada, J. E., Puma Taco, A. L., Campos Falcón, E. V., Colque Ollachica, D., Figueroa Ccanahuire, I. K., y Chaupi Quispe, L. M. (2021). *Aprovechamiento del estiércol de alpaca e ichu para la producción de briquetas como fuente de energía calorífica en Arequipa*. TECNIA, 31(1), 51–55.
<https://doi.org/10.21754/tecnia.v21i1.1314>
- Tomita, E., Kawahara, N., y Azimov, U. (2022). *Biogas Combustion Engines for Green Energy Generation*. Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-94538-1>
- Valderrama, A., Curo, H., Quispe, C., Llantoy, V., y Gallo, J. (2007). *Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calorífica en cocinas no convencionales*. 26–34.
https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/rev_cedit/2007_v02/pdf/a04v2.pdf
- Valiente Mack, A. C. (2017). *Elaboración de briquetas para aprovechamiento del residuo de arroz en beneficios del municipio de el progreso, Jutiapa*.
https://solvefortomorrowlatam.com/wp-content/uploads/2022/08/GP_2017_Briquete-de-Cisco-de-Cafe_Elaboracion-de-Briquetas-para-aprovechamiento-del-residuo-de-arroz-en-beneficios-del-municipio-de-el-progreso-Jutiapa.pdf

Vargas, J. B. (2017). *Estudio de la influencia del porcentaje de arcilla en la calidad de las briquetas de hojas de caña de azúcar mediante ensayos físicos y térmicos.*

Villalobos, M., López, M., Rodríguez, P., y Prado, M. (2014). Obtención de almidón a partir de los residuos de papa del mercado Abastos. *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología*.
https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias%20de%20la%20Ingenieria%20y%20Tecnologia%20T-V/Articulo_25.pdf

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia

Título: Eficiencia energética de briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) y residuos de poda de olivo (*Olea europaea*) en Sama, Las Yaras, Tacna, 2025

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensión	Indicadores
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables Independientes: Proporción de estiércol de cuy Proporción de poda de olivo Almidón de papa Aserrín Variables dependientes: Características fisicoquímicas de las briquetas	Cantidad utilizada en gramos de la mezcla	Proporción en gramos (40-94)
¿Qué factores determinan la eficiencia energética de briquetas elaboradas a partir del estiércol de cuy y poda de olivo en Sama las yaras, Tacna?	Evaluar la eficiencia energética de briquetas elaboradas a partir del estiércol de cuy y poda de olivo en Sama las yaras, Tacna.	Si se evalúan las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy (<i>Cavia porcellus</i>) y residuos de poda de olivo (<i>Olea europaea</i>), entonces se determina la eficiencia energética de estas como fuente de energía.		Cantidad utilizada en gramos de la mezcla	Proporción en gramos (27-108)
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas		Cantidad utilizada en gramos como aglutinante	Proporción en gramos (13-120)
¿Qué características fisicoquímicas presenta el estiércol de cuy y poda de olivo en Sama las yaras, Tacna?	Determinar las características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y poda de olivo.	Las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y poda de olivo presentan buenas características fisicoquímicas.		Cantidad utilizada en gramos como aglutinante	Proporción en gramos (8-34)
¿Qué proporción de mezcla entre estiércol de cuy y residuos de poda de olivo permite obtener briquetas con las mejores propiedades fisicoquímicas y energéticas en Sama, Las Yaras - Tacna?	Determinar la proporción optima de mezcla entre estiércol de cuy y residuos de poda de olivo que permita obtener briquetas con las mejores propiedades fisicoquímicas y energéticas.	Existe proporciones optimas de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo que permiten obtener briquetas con mejores características fisicoquímicas y energéticas.		Cantidad, componentes físico químicos,	Densidad (g/cm3) Contenido de humedad (%) Contenido de cenizas (%) Índice de friabilidad

¿Cuáles son las características térmicas de las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo en el proceso de cocción de alimentos?	Caracterizar el comportamiento térmico en la cocción de alimentos de las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y poda de olivo.	El uso de briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y residuos de poda de olivo reduce el tiempo de cocción de los alimentos en comparación con el uso de combustibles tradicionales.	Características energéticas de las briquetas Tiempo de cocción del alimento	Cantidad, componentes energéticos Cantidad	Poder calorífico (Kcal/kg) Tiempo de encendido (m) Tiempo de combustión (m) Velocidad de combustión (m) Tiempo de cocción (m)
Método y diseño		Población y muestra		Técnicas e instrumentos	
Tipo de investigación:	Cuantitativo	Población y Muestra	10 kg de cada muestra (poda de olivo, estiércol de cuy y aserrín), 5 kg de almidón de papa	Técnica:	Observación Experimental
Diseño de investigación:	Diseño con 7 tratamientos y tres repeticiones			Instrumentos:	Ficha de registro
Nivel de investigación	Experimental			Tratamiento estadístico:	Statgraphics 19 X-64 libre IBM SPSS versión libre

Anexo 2

Lugar de ubicación del estudio a investigar



Anexo 3

Panel fotográfico de la recolección de las muestras

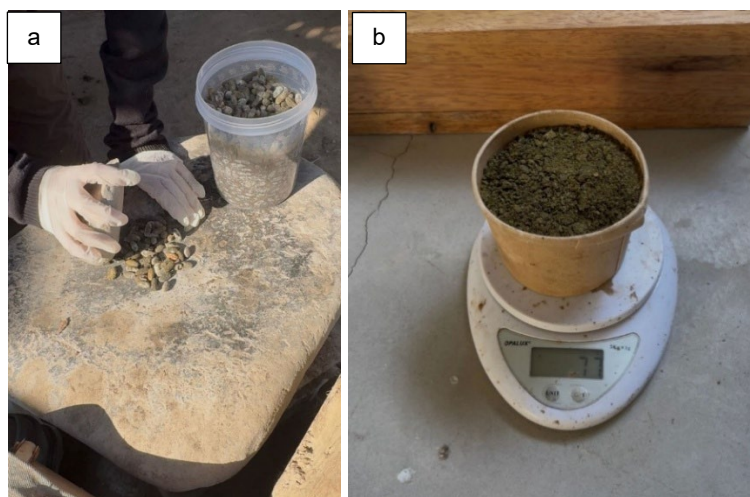




Fotografía 1. a) y b) Recolección de las muestras de poda de olivo, c) y d) Muestras de residuos de poda de olivo, e) Recolección de las muestras de estiércol de cuy y f) Muestra de estiércol de cuy.

Anexo 4

Panel fotográfico del proceso de molienda para la fabricación de briquetas





Fotografía 2. a) Molienda de las muestras de estiércol de cuy mediante una roca, b) Pesaje de las muestras de estiércol de cuy molida, c) y d) Molienda de los residuos de poda de olivo con trituradora.



Fotografía 3. Muestras de estiércol de cuy, poda de olivo, aserrín y almidón de papa.

Anexo 5

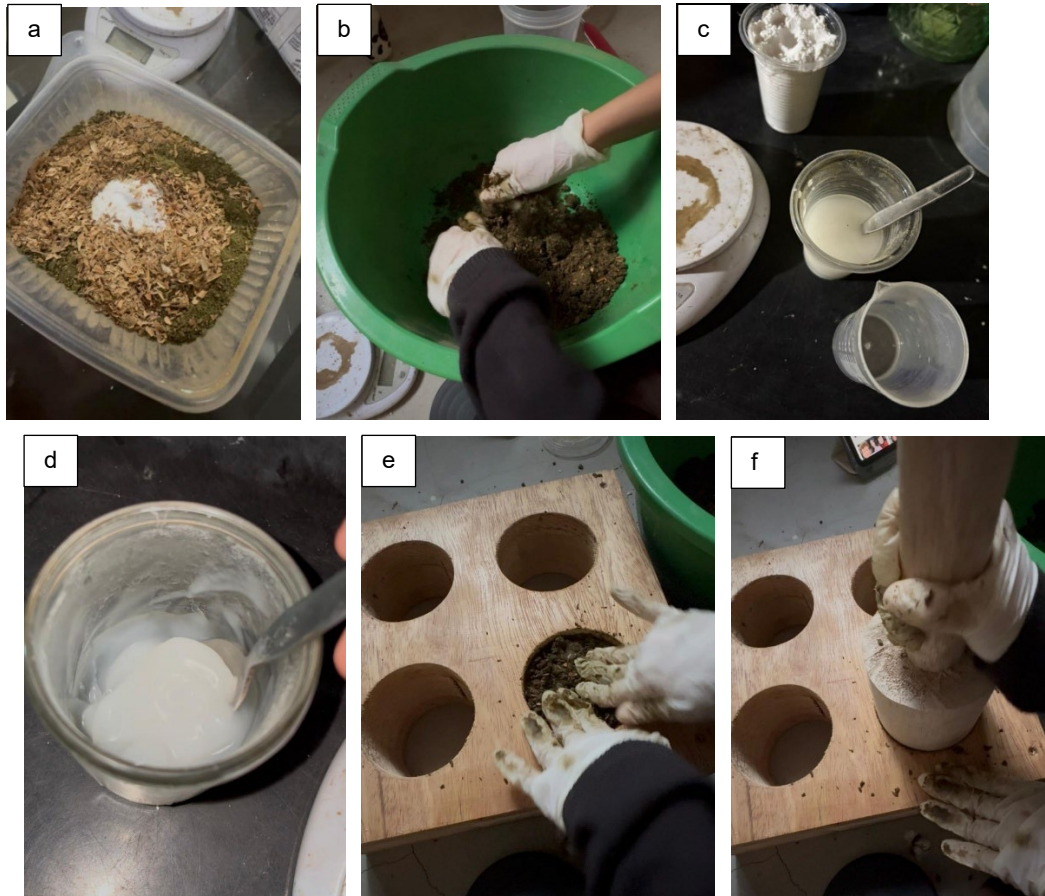
Panel fotográfico de la obtención del almidón de papa



Fotografía 4. a) Papas seleccionadas para pelar, b) Rallado de las papas, c) Tamizado de la papa para recolectar el almidón, c) Almidón asentado en reposo, d) Molienda del almidón para su posterior uso.

Anexo 6

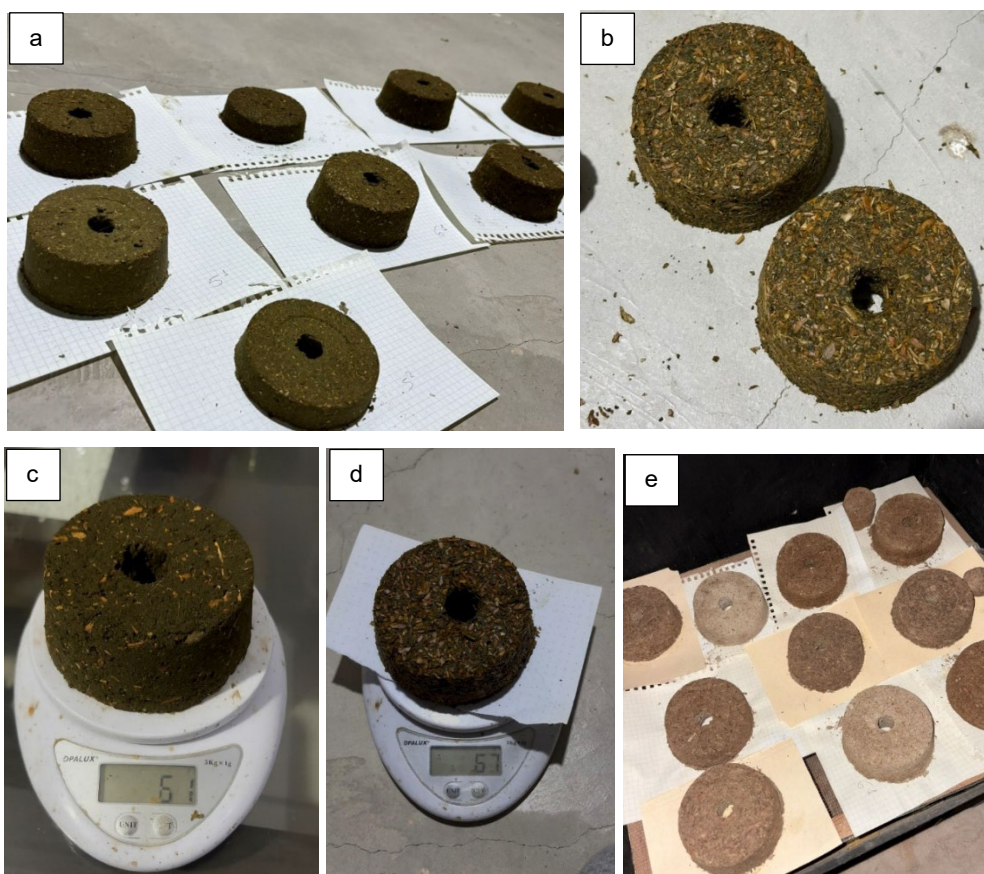
Panel fotográfico del proceso de mezclado de las briquetas



Fotografía 5. a) y b) Mezcla de todos los componentes para la fabricación de las briquetas, c) Activación del almidón de papa con agua caliente, d) Almidón activado, e) Colocado en el molde para que las briquetas tomen forma cilíndrica, f) Emitiendo presión para la compactación de las briquetas con el mazo.

Anexo 7

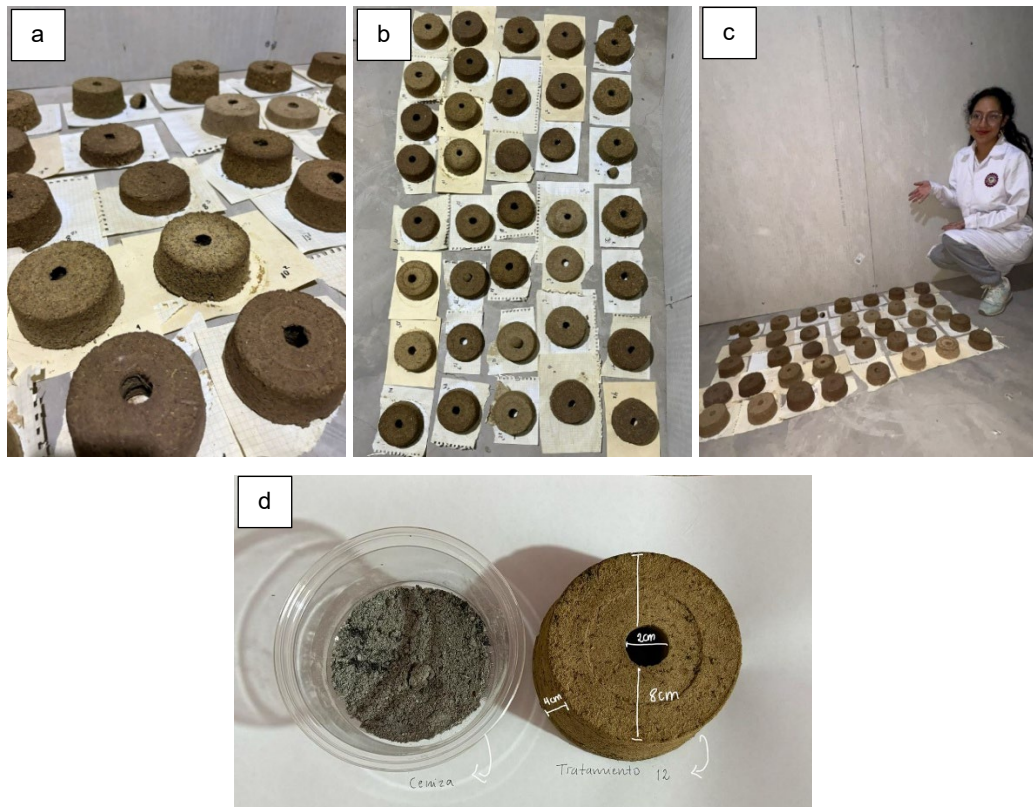
Panel fotográfico de las briquetas en proceso de secado



Fotografía 6. a) y b) Briquetas en reposo para su posterior secado al sol, c) y d) briquetas en balanza para anotar el peso y hallar el contenido de humedad (g), e) briquetas en el sol para secado x 15 días.

Anexo 8

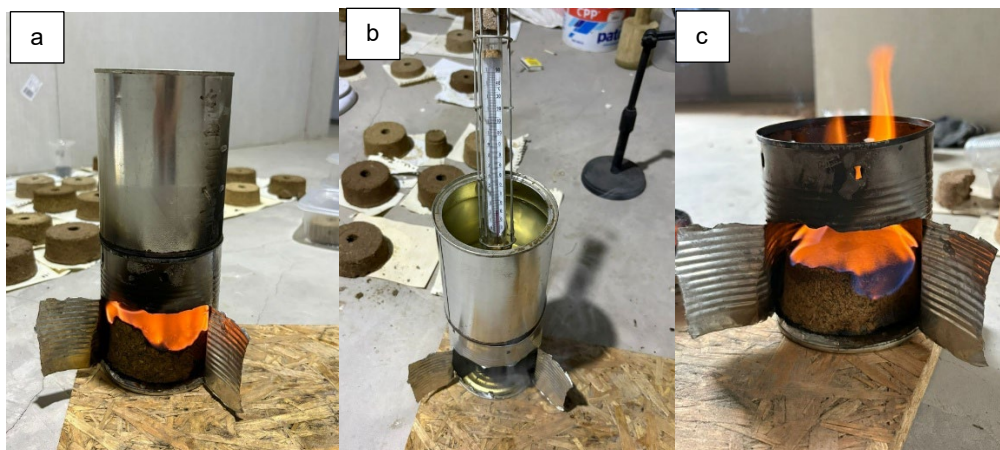
Panel fotográfico de las briquetas secas



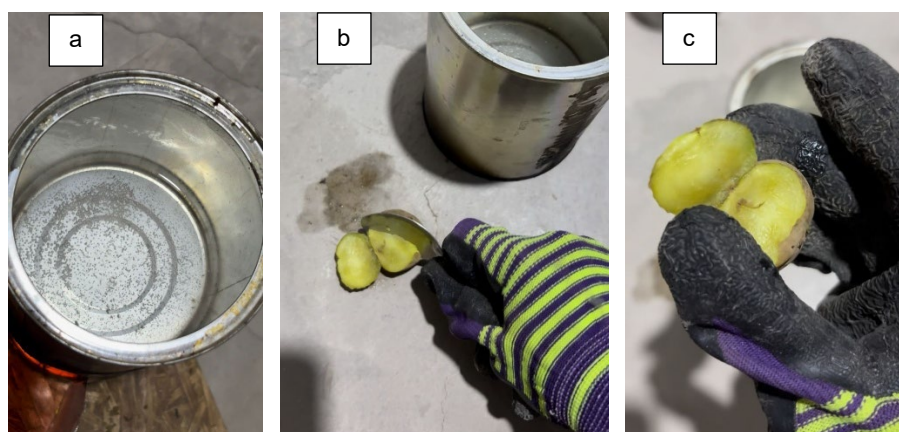
Fotografía 7. a) y b) Briquetas secas enumeradas para el posterior análisis, c) Briquetas secas dispuestas de manera ordenada y d) Medidas de las briquetas al posterior secado y contenido de cenizas.

Anexo 9

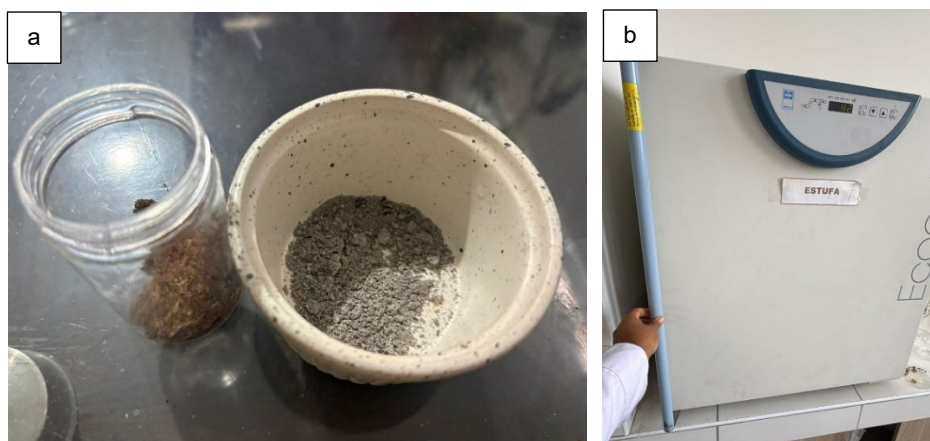
Panel fotográfico de los análisis fisicoquímicos de las briquetas elaboradas



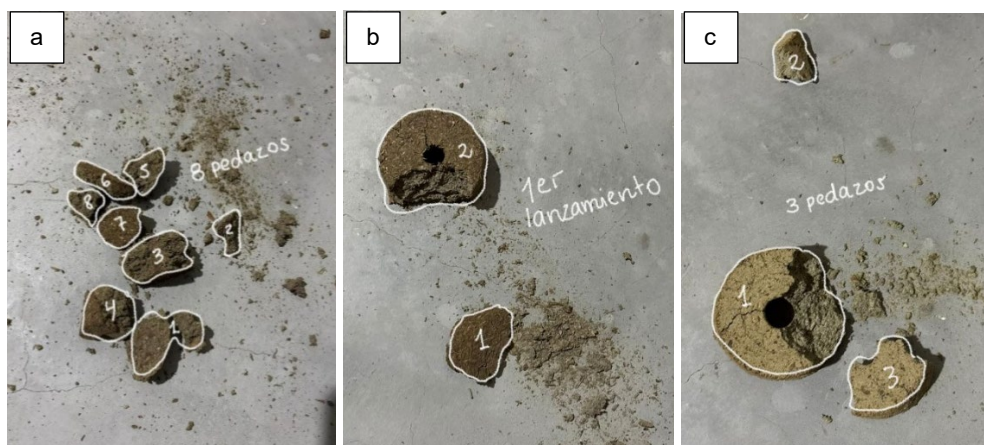
Fotografía 8. a) estufa casera con la briqueta ardiendo, b) tomado de la temperatura del agua previo a la combustión de las briquetas, c) briqueta ardiendo.



Fotografía 9. a) Ebullición del agua usando la briqueta, b) y c) Papa cocida después de un tiempo usando la briqueta.



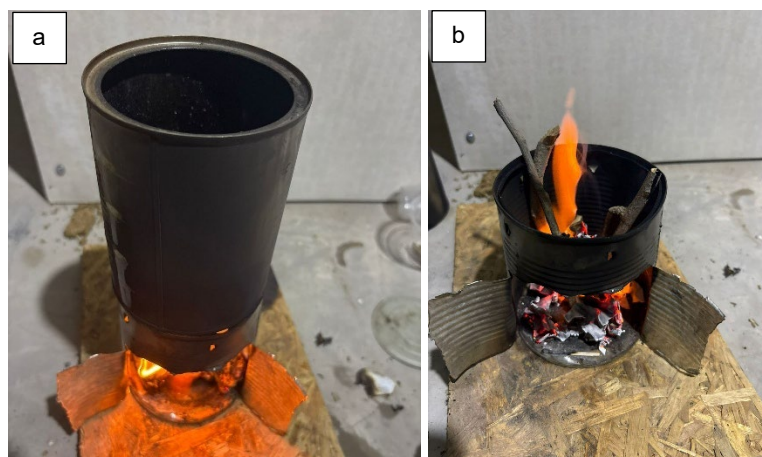
Fotografía 10. a) Prueba de laboratorio usando una estufa para hallar el contenido de cenizas y b) Estufa usada en el experimento.



Fotografía 11. a), b) y c) Pruebas para hallar el índice de friabilidad de todas las briquetas, dejándolas caer desde una altura considerable y obtener pedazos.

Anexo 10

Panel fotográfico del uso de la leña de chañar para comparación



Fotografía 12. a) y b) Estufa casera usando leña de chañar para cocer una papa pequeña y comparar con las briquetas

Anexo 11

Resultado de la densidad de las briquetas elaboradas

Tratamientos de las briquetas	Altura (cm)	Radio (cm)	Peso seco (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
T1	3	4	41,5	141,37	0,29
T2	4	4	51,5	188,49	0,27
T3	3,5	4	47	164,93	0,28
T4	3	4	53	141,37	0,37
T5	4	4	45,5	188,49	0,24
T6	3	4	41	141,37	0,29
T7	3,5	4	52	164,93	0,32

Anexo 12

Resultado del IFR de las briquetas elaboradas

Tratamientos	Estiércol	Podas	almidón	Aserrín	N° de lanzamientos	N° de pedazos	IFR
T1	40	27	13	8	2	4	50,00
T2	94	27	13	8	5	7	71,43
T3	40	108	13	8	5	8	62,50
T4	94	27	120	8	4	6	66,67
T5	40	27	13	34	5	5	100,00
T6	40	108	13	34	5	8	62,50
T7	94	108	120	34	4	5	80,00

Anexo 13

Resultado del contenido de humedad de las briquetas elaboradas

Porcentaje de humedad de las briquetas			
Tratamientos	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Humedad (%)
T1	47,5	41,5	12,6
T2	61	51,5	15,6
T3	55,5	47	15,3
T4	66	53	19,7
T5	53,3	45,5	14,6
T6	47,1	41	13,0
T7	71,8	52	27,6

Anexo 14

Resultado del contenido de ceniza de las briquetas elaboradas

Tratamientos	Estiércol de cuy	Residuos de Poda de olivo	Almidón de papa	Aserrín	Masa de la ceniza (g)	Peso seco (g)	CC %
T1	40	27	13	8	0,2	2	10,0
T2	94	27	13	8	0,2	2	10,0
T3	40	108	13	8	0,30	2	15,0
T4	94	27	120	8	0,02	2	1,0
T5	40	27	13	34	0,2	2	10,0
T6	40	108	13	34	0,2	2	10,0
T7	94	108	120	34	0,05	2	2,5

Anexo 15

Resultado del tiempo de encendido de las briquetas elaboradas

Tratamientos	Estiércol de cuy	Residuos de poda de olivo	Almidón de papa	Aserrín	TE (s)	TE (m)
T1	40	27	13	8	125	2,08
T2	94	27	13	8	180	3,00
T3	40	108	13	8	180	3,00
T4	94	27	120	8	10	0,17
T5	40	27	13	34	120	2,00
T6	40	108	13	34	160	2,67
T7	94	108	120	34	18	0,30

Anexo 16

Resultado del tiempo de combustión de las briquetas elaboradas

Tratamientos	Estiércol de cuy	Residuos de poda de olivo	Almidón de papa	Aserrín	TC (s)	TC (m)
T1	40	27	13	8	300	5
T2	94	27	13	8	420	7
T3	40	108	13	8	348	5,8
T4	94	27	120	8	-	-
T5	40	27	13	34	366	6,1
T6	40	108	13	34	300	5
T7	94	108	120	34	-	-

Anexo 17

Resultado de la velocidad de combustión de las briquetas elaboradas

Briquetas		Velocidad de combustión de la briketa		
Tratamientos	Cantidad de combustible inicial (g)	Cantidad de combustible consumido (g)	Tiempo de combustión (m)	Velocidad de combustión (g/m)
T1	41,5	4,2	5	7,46
T2	51,5	5,2	7	6,61
T3	47	4,7	5,8	7,29
T4	53	-	-	-
T5	45,5	4,1	6,1	6,79
T6	41	5,3	5	7,14
T7	52	-	-	-

Anexo 18

Poder calorífico de las briquetas elaboradas a partir de estiércol de cuy y poda de olivo

Variables independientes					Variable de respuesta
N° de corridas	A	B	C	D	Poder calorífico (kcal/kg)
T1	40	27	13	8	4427,01
T2	94	27	13	8	3612,55
T3	40	108	13	8	4007,92
T4	94	27	120	8	-
T5	40	27	13	34	4191,16
T6	40	108	13	34	4764,61
T7	94	108	120	34	-

Anexo 19

Resultado del tiempo de cocción de una papa utilizando las briquetas elaboradas vs la leña de chañar

Tratamientos	Briquetas				Tiempo de cocción de la papa	
	Estiércol de cuy	Residuos de poda de olivo	Almidón de papa	Aserrín	Tiempo de cocción de las briquetas(m)	Tiempo de cocción con leña (m)
T1	40	27	13	8	10,3	38
T2	94	27	13	8	13,1	30
T3	40	108	13	8	11	33
T4	94	27	120	8	-	25
T5	40	27	13	34	12,1	30
T6	40	108	13	34	10	40
T7	94	108	120	34	-	27