

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

ELABORACIÓN DE BRIQUETAS A BASE DE RESIDUOS
DE PODA DE OLIVO Y CÁSCARA DE ARROZ
COMO BIOCOMBUSTIBLE EN LA
CIUDAD DE TACNA

TESIS

Presentada por:

Bach. Jeny Maribel Calderon Garrido

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

**ELABORACIÓN DE BRIQUETAS A BASE DE RESIDUOS DE PODA DE
OLIVO Y CÁSCARA DE ARROZ COMO BIOCOMBUSTIBLE EN LA
CIUDAD DE TACNA**

SUSTENTADA Y APROBADA EL 22 DE ABRIL DEL 2026, SIENDO EL JURADO
CALIFICADOR:

PRESIDENTE:

.....
Msc. Carlos Armando Polo Bravo

SECRETARIO:

.....
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

VOCAL:

.....
Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

ASESOR:

.....
Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya en condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N°9396-2024-FCAG de la tesis titulada **"ELABORACIÓN DE BRIQUETAS A BASE DE RESIDUOS DE PODA DE OLIVO Y CÁSCARA DE ARROZ COMO BIOCOMBUSTIBLE EN LA CIUDAD DE TACNA"**, informe presentado por la Bachiller Jeny Maribel Calderon Garrido para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según revisión a través del **software de similitud textual Turnitin** cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es de **7 %**.

Por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis y esta de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los tramites correspondientes.

Se emite la presente constancia con fines de continuar con los tramites respectivos para su obtención de título.

Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

DNI:00450486



Huella digital

Jeny Maribel Calderon Garrido

DNI:75245744



Huella digital

DEDICATORIA

*Dedico esta tesis a Dios, por guiar mis pasos y darme
fortaleza para superar cada desafío.*

*A mis padres y familia, por su apoyo incondicional y por
creer en mí incluso cuando yo dudaba.*

*A mis pequeños Mariano, Bonnie y Viri que hoy ya no está
aquí, pero desde arriba sé que sigue guiando mis pasos
Este logro también les pertenece*

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a Dios por permitirme culminar esta etapa importante en mi vida profesional.

A mi asesor de tesis Efrén Chaparro Montoya, por su acompañamiento, orientación técnica y exigencia académica, que contribuyeron significativamente a mejorar la calidad del presente trabajo.

A la institución y a mis docentes universitarios, por las enseñanzas brindadas durante mi formación académica y mi proceso de titulación

.

Y a mi familia, por su respaldo constante, paciencia y confianza en cada paso de mi formación, especialmente a mi hermana Wendy por el apoyo constante.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	
1.1 Descripción del problema.....	7
1.2 Formulación del problema.....	9
1.2.1 Problema general.....	9
1.2.2 Problemas específicos.....	9
1.3 Justificación de la investigación.....	9
1.3.1 Justificación social.....	9
1.3.2 Justificación económica.....	10
1.3.3 Justificación ambiental.....	10

CAPÍTULO II: OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1	Objetivos.....	11
2.1.2	Objetivo general.....	11
2.1.2	Objetivos específicos.....	11
2.2	Hipótesis.....	11
2.2.1	Hipótesis general.....	11
2.1.2	Hipótesis específicas.....	11
2.3	Variables.....	12
2.3.1	Indicadores de variables.....	12
2.4	Operacionalización de las variables.....	12

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1	Antecedentes.....	14
3.2	Bases teóricas.....	20
3.2.1	Tipo de residuo.....	20
3.2.2	Propiedades fisicoquímicas.....	29
3.2.3	Propiedades térmicas.....	30
3.3	Definición de términos.....	31
3.3.1	Briquetas.....	31
3.3.2	Biomasa.....	32
3.3.3	Cáscara de arroz.....	3 ^v
3.3.4	Poda de olivo.....	32

3.3.5	Aglutinante.....	32
3.3.6	Combustión.....	33
3.3.7	Poder calorífico.....	33
3.3.8	Densidad.....	33
3.3.9	Humedad.....	33
3.3.10	Cenizas.....	33

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1	Descripción de la investigación.....	35
4.2	Diseño experimental.....	35
4.3	Lugar de estudio.....	37
4.3.1	Población y muestra.....	37
4.4	Materiales y/o instrumentos de apoyo.....	37
4.4.1	Materiales.....	37
4.4.2	Equipos.....	38
4.5	Procedimiento y análisis de objetivos.....	38
4.5.1	Evaluación de las características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz.....	40
4.5.2	Evaluación de las características térmicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz.....	40

4.6	Métodos estadísticos utilizados.....	41
-----	--------------------------------------	----

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	Evaluación de las características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz.....	42
-----	--	----

5.2	Evaluación de las características térmicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz.....	48
-----	--	----

5.2.1	Análisis de la mejor eficiencia de las briquetas obtenidas.....	55
-------	---	----

5.3	Discusiones.....	56
-----	------------------	----

5.3.1	Evaluación de las características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz.....	56
-------	--	----

5.3.2	Evaluación de las características térmicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz.....	58
-------	--	----

	CONCLUSIONES.....	6 ^o
--	--------------------------	----------------

vii

	RECOMENDACIONES.....	6
--	-----------------------------	---

	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
--	--	----

	ANEXOS.....	74
--	--------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	<i>Operacionalización de variables.....</i>	13
Tabla 2.	<i>Análisis de varianza para los parámetros analizados.....</i>	41
Tabla 3.	<i>Valores obtenidos de las características fisicoquímicas de las briquetas</i>	42
Tabla 4.	<i>Análisis de varianza para el porcentaje de cenizas de las briquetas ecológicas.....</i>	43
Tabla 5.	<i>Prueba de tukey para el porcentaje de cenizas (%) de las briquetas ecológicas</i>	43
Tabla 6.	<i>Análisis de varianza para la densidad de las briquetas ecológicas.....</i>	45
Tabla 7.	<i>Prueba de tukey para la densidad (kg/m³) de las briquetas ecológicas.....</i>	45
Tabla 8.	<i>Análisis de varianza para el porcentaje de humedad de las briquetas ecológicas.....</i>	47
Tabla 9.	<i>Prueba de tukey para el porcentaje de humedad (%) de las briquetas ecológicas</i>	47
Tabla 10.	<i>Valores obtenidos de las características térmicas de las briquetas.....</i>	49
Tabla 11.	<i>Análisis de varianza para el poder calorífico de las</i>	

	<i>briquetas ecológicas</i>	49
Tabla 12.	<i>Prueba de tukey para el poder calorífico (kcal/kg) de las briquetas ecológicas</i>	50
Tabla 13.	<i>Análisis de varianza para el tiempo de ebullición de las briquetas ecológicas</i>	51
Tabla 14.	<i>Prueba de tukey para el tiempo de ebullición (min) de las briquetas ecológicas</i>	52
Tabla 15.	<i>Análisis de varianza para el tiempo de encendido de las briquetas ecológicas</i>	53
Tabla 16.	<i>Prueba de tukey para el tiempo de encendido (min) de las briquetas ecológicas</i>	54
Tabla 17.	<i>Proporción optima de componentes que maximizan el poder calorífico y tiempo de encendido</i>	56

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	<i>Partes de cáscara de arroz.....</i>	22
Figura 2.	<i>Composición química de la cáscara de arroz.....</i>	23
Figura 3.	<i>Composición química de la poda de olivo.....</i>	25
Figura 4.	<i>Composición elemental de la poda de olivo.....</i>	26
Figura 5.	<i>Forma y dimensiones de briquetas.....</i>	28
Figura 6.	<i>Diseño experimental para las propiedades fisicoquímicas de las briquetas.....</i>	36
Figura 7.	<i>Procedimiento de elaboración de briquetas a base de cáscara de arroz y poda de olivo.....</i>	39
Figura 8.	<i>Resultados de porcentaje de cenizas (%) de las briquetas.....</i>	44
Figura 9.	<i>Resultados de densidad (kg/m³) de briquetas.....</i>	46
Figura 10.	<i>Resultados de porcentaje de humedad (%) de las briquetas.....</i>	48
Figura 11.	<i>Resultados de poder calorífico(kcal/kg) de las briquetas...</i>	51
Figura 12.	<i>Resultados de tiempo de ebullición(min) de las briquetas.</i>	53
Figura 13.	<i>Resultados de tiempo de encendido (min) de las briquetas.....</i>	55

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. <i>Matriz de consistencia</i>	75
Anexo 2. <i>Norma técnica colombiana 2060</i>	76
Anexo 3. <i>Panel fotográfico</i>	86

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cascara de arroz como biocombustible en la ciudad de Tacna. Para la elaboración de briquetas se realizó un diseño experimental aplicando un diseño completamente al azar, este diseño incluía 4 tratamientos con 3 repeticiones por cada tratamiento, teniendo como variable independiente la cascara de arroz y residuos de poda de olivo para el análisis de las características fisicoquímicas y térmicas de las briquetas obtenidas. Los resultados mostraron que solo las variables de densidad, resulto significativamente ($p < 0,005$), así mismo la briqueta que tuvo la proporción de 8 % de cáscara de arroz, 82 % de residuos de poda de olivo y 10 % de aglutinante orgánico presento mejores condiciones fisicoquímicas y térmicas. Las briquetas obtenidas a partir de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz en Tacna resultaron ser un biocombustible ecológico ya que disminuye gran parte de generación de residuos agroindustriales. Se logró identificar que el tratamiento 2 obtuvo los mejores resultados en cuanto a poder calorífico con un valor de 5 670,13 Kcal/kg, porcentaje de humedad de 9,33 % y un tiempo de encendido de 171 minutos.

Palabras clave: Briquetas, biomasa, aglutinante, cáscara de arroz, poda de olivo.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate briquettes made from olive pruning waste and rice husks as a biofuel in the city of Tacna. A completely randomized experimental design was used for briquette production. This design included four treatments with three replicates per treatment. The independent variables were rice husks and olive pruning waste, used to analyze the physicochemical and thermal characteristics of the resulting briquettes. The results showed that only the density variable was significantly different ($p < 0,005$). Furthermore, the briquette with a composition of 8% rice husks, 82 % olive pruning waste, and 10% organic binder exhibited the best physicochemical and thermal properties. Briquettes made from olive pruning waste and rice husks in Tacna proved to be an environmentally friendly biofuel, significantly reducing agro-industrial waste generation. Treatment 2 yielded the best results in terms of calorific value, with 5 670.13 kcal/kg, a moisture content of 9,33%, and an ignition time of 171 minutes.

Keywords: Briquettes, biomass, binder, rice husk, olive pruning

INTRODUCCIÓN

Las condiciones económicas y ambientales de las fuentes de energía que son convencionales, de energía renovables y sostenibles cobran cada vez más importancia, principalmente por el agotamiento de las reservas de hidrocarburos con el paso del tiempo, así como por la problemática de su aprovechamiento. La producción de sustancias nocivas va cada vez más en aumento causando un impacto para el ambiente y las personas. Es por lo que surge una necesidad que tiene como consecuencia la búsqueda de nuevas fuentes que brinden energía y que ayudaran a solucionar parcialmente esta problemática, y además permite mantener la situación actual de consumo energético y las previsiones de futuro (Niño,2020).

Los biocombustibles, se presentan como una nueva fuente energética alternativa que a su vez es una solución creativa y eco amigable para la problemática del uso desmedido de los combustibles fósiles (Torres et al., 2019). Según Palacios y Barba (2020) menciona que los biocombustibles son aquellos materiales que están compuestos por lignocelulosa y provienen de los residuos agrícolas y forestales, que cuentan con características fisicoquímicas que favorecen al aprovechamiento energético; abarcando la posibilidad de poder reemplazar

el uso de los recursos fósiles en lo cual la sociedad actual a lo largo de los años ha basado su desarrollo, es por lo que se usan materia prima como la biomasa, que pueden ser restos orgánicos o material vegetal (Romanelli et al., 2020).

La industria agrícola es la actividad que genera una cantidad considerable de residuos, según datos estadísticos se indicó que, en el año 2016 a nivel mundial se tuvo un valor de 368 329 087 469 ton (Gómez-Soto et al., 2019); se tiene a los cinco primeros cultivos más grandes del mundo que son el maíz, el arroz, el olivo, la caña de azúcar y el trigo, estos en consecuencia, producen residuos sólidos en abundancia que son asociados en la etapa de siembra y cosecha.

En la zona sur, debido a sus características fitosanitarias y climáticas, generan el ambiente ideal para cultivo de gran variedad de frutas y hortalizas, algunos de los principales son: el Olivo, Arroz, Vid, Maíz y Orégano. Así mismo la región de Tacna es la primera región con mayor producción de aceituna con un 70% de los cultivos de olivo a nivel nacional, produciendo más de 105 mil toneladas de aceitunas durante el 2021 (Lu, 2021); al igual que la región de Arequipa es uno de los principales productores de arroz en la zona sur del país con un 11,4 % de producción

a nivel nacional; la producción de arroz en cáscara alcanzó 330 mil 825 toneladas y creció 32,5 % durante el mes de abril en el 2022 (INEI, 2022).

El cultivo del olivo genera una serie de restos de poda al momento de realizar la recolección del fruto, estos residuos como disposición final son incinerados generando una problemática ambiental, en lugar de ser aprovechados ya que estos residuos poseen una gran característica leñosa para ser utilizados en la obtención de briquetas como una fuente de energía alternativa (Arenas, 2021).

El proceso de la molienda del grano de arroz nos da como subproducto a la cáscara de arroz; lo podemos encontrar en la parte externa del grano de arroz, cuya composición es palea y lemma, las cuales están unidas por dos pericarpios, esta se encuentra localizada entre la cáscara y el endospermo, entonces va a representar todas las partículas que se desprenden del grano de arroz después de eliminar la cáscara hasta que el grano quede en estado óptimo para el mercado (Ortega y Quispe, 2021).

Sabemos que, en nuestra vida cotidiana se requiere de un combustible para cocinar nuestros alimentos, el más conocido y usado es el

gas propano, la cual a su vez posee un costo elevado, en consecuencia, las familias de escasos recursos optan por opciones menos costosas y con mayor accesibilidad, ese reemplazo usualmente es la madera o carbón (Muñoz y Cáceres, 2020). El uso de estas materias causa emisiones tóxicas que afectan al ambiente es porque su uso no es el más recomendable, por ello Nogueira et al., (2019) indican que el uso del carbón y leña no son los recomendables y se menciona que existe otra solución que reemplazara lo convencional por algo más económico y fácil de producir como son las briquetas

Las briquetas elaboradas con la biomasa residual, tienen ventaja ambiental a diferencia del uso de la leña o carbón, ya que las emisiones de dióxido de carbono son 50 % menores a las que produce la leña o el carbón, además contienen bajas concentraciones de nitrógeno y azufre (León y Santacruz, 2021), la biomasa compactada proviene de materia ecológica y residual, que se caracteriza como una fuente de energía alternativa. (Chicaiza y Marcillo, 2021). Este producto está caracterizado por el aprovechamiento de los desechos orgánicos generados por cualquier actividad antrópica, lo cual le da un uso adecuado para su producción (Smith et al., 2019).

El tamaño de la briqueta según la norma técnica colombiana debe tener una dimensión mínima el valor de 3 cm, caracterizándose por encender fácilmente y además tiene una combustión limpia, esta no debe sufrir deterioro alguno durante su traslado y manejo ni en condiciones normales de almacenamiento (INCOTEC, 2003).

La investigación plantea la elaboración de briquetas ecológicas como biocombustibles provenientes del aprovechamiento del residuo agroindustrial (Cáscara de arroz) y residuos del olivo (Poda de olivo); mediante la elaboración de briquetas como una alternativa eco amigable con el ambiente. Los objetivos específicos son evaluar las características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz en materia seca, y evaluar las características térmicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de la poda de olivo y cáscara de arroz en materia seca.

En el presente trabajo de investigación podemos encontrar en el Capítulo I, el planteamiento y definición del problema, en el capítulo II se tiene los objetivos e hipótesis, en el Capítulo III se visualizará el marco teórico de la investigación, en el Capítulo IV se tiene la metodología de investigación donde se menciona el diseño experimental DCA usado para

el análisis estadístico de los resultados , en el Capítulo V tendremos los resultados obtenidos durante la investigación , asimismo tendremos las discusiones de la investigación realizada con otros autores.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En el mundo, existen en promedio tres mil millones de personas que usan la leña como combustible para usos en cocina y calefacción, de ese total, dos mil millones de personas viven en áreas rurales y suburbanas. En América Latina en promedio al año, existe un consumo de 254 millones de m³ de leña; es así, que, los más afectados suelen ser las personas que habitan en zonas rurales esencialmente mujeres y niños, los que como consecuencia deben recorrer mayor distancia para acopiar leña, generando problemas sociales y ambientales. (FAO, 2018)

En la industria del olivo, se genera residuos como el orujo que es denominada una pasta sólida y en la industria del arroz se genera la cáscara del arroz, estos dos residuos en la mayoría de los casos no reciben un tratamiento adecuado para su disposición final, que en muchas ocasiones son incineradas provocando diversos impactos ambientales, como la contaminación atmosférica, deterioro del suelo y de la salud humana.

En la zona sur, el clima y las condiciones fitosanitarias favorecen al

cultivo de gran variedad de frutas y hortalizas, como, por ejemplo: el Olivo, Arroz, Vid, Maíz y Orégano. Así mismo la región de Tacna es la primera región productora de aceituna con un 70 % de los cultivos de olivo a nivel nacional, produciendo más de 105 mil toneladas de aceitunas durante el 2021 (Lu, 2021); al igual que la región de Arequipa es uno de los principales productores de arroz en la zona sur del país con un 11,4 % de producción a nivel nacional; la producción de arroz cáscara alcanzó 330 mil 825 toneladas y creció 32,5 % en abril del presente año (INEI, 2022).

A lo largo del tiempo, se han buscado soluciones a esta problemática mencionada en el párrafo anterior y se han realizado estudios sobre el uso de la tecnología de briquetas. Esta tecnología de las briquetas tiene una visión de reemplazar el uso de la leña, esto debido a que cada vez es más escasa y lo cual dificulta el acceso (Tuesta, 2016)

Teniendo en cuenta la problemática mencionada anteriormente se realiza el planteamiento de esta tesis que está enfocada en la elaboración de biocombustibles sólidos provenientes del aprovechamiento de los residuos agroindustriales; mediante la elaboración de briquetas a base de cáscara de arroz y poda de olivo como una alternativa eco amigable con el ambiente.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Son eficientes las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz como biocombustible en Tacna?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál son las características fisicoquímicas de las briquetas a base de poda de olivo y cáscara de arroz?
- ¿Cuál son las características térmicas de las briquetas a base de residuo de poda de olivo y cáscara de arroz?

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación social

Esta propuesta de investigación tendrá un aporte en beneficio de la población ya que se usará como fuente de energía para el uso doméstico. El uso de los residuos para la elaboración de las briquetas, ayuda a evitar la quema de estos residuos, que en su mayoría de casos en una medida rápida que usan para su disposición final y esto causa problemas a la salud de la población.

1.3.2 Justificación económica

En el aspecto económico , se realizará el uso de estos dos tipos de residuos que no reciben un respectivo aprovechamiento para poder

evaluar la factibilidad con respecto a costos y duración; en el mercado podemos encontrar alternativas como las briquetas de carbón que tienen un costo de 23 soles por 3 kg, pero las briquetas eco amigables como son las briquetas de cáscaras de arroz que cuestan 15 soles por 3 kg, lo cual nos indica que sigue siendo una propuesta viable para el mercado y accesible para la población.

1.3.3 Justificación ambiental

La aportación ambiental para la elaboración de briquetas a base de residuos agroindustriales (cáscara de arroz) y residuo de poda de olivo emiten menor cantidad de CO₂ en comparación con el carbón vegetal, así mismo los aditivos no contiene ningún componente tóxico que pueda crear un impacto al ambiente.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Elaborar briquetas a base de poda olivo y cáscara de arroz y determinar su potencial biocombustible en la ciudad de Tacna.

2.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar las características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de la poda de olivo y cáscara de arroz.
- Evaluar las características térmicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de la poda de olivo y cáscara de arroz.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

Los residuos de la poda del olivo y cáscara de arroz permiten elaborar briquetas y determinar su potencial como biocombustible en la ciudad de Tacna.

2.2.2 Hipótesis específicas

- La elaboración de las briquetas a base de residuos de la poda del olivo y cáscara de arroz permite evaluar sus propiedades fisicoquímicas evidenciando valores óptimos.
- La elaboración de las briquetas a base de residuos de la poda del

olivo y cáscara de arroz permite evaluar sus propiedades térmicas.

2.3 Variables

2.3.1 Indicadores de variables

a) Variables independientes

- Tipo de residuo

b) Variable dependiente

- Briquetas ecológicas

2.4 Operacionalización de las variables

En la Tabla 1 se observan las variables con sus respectivas dimensiones e indicadores, los cuales serán empleados para la realización del presente trabajo de investigación.

Tabla 1
Operacionalización de variables

Variables	Dimensión	Indicadores
Variables independientes x1: Tipo de residuo	-Cáscara de arroz	Porcentaje (%)
	-Poda de olivo	
Variable dependiente y1: Briquetas ecológicas	-Propiedades fisicoquímicas	• Porcentaje de humedad (%)
		• Porcentaje de cenizas (%)
		• Densidad (Kg/m ³)
	-Propiedades térmicas	• Tiempo de encendido(min) • Poder calorífico (Kcal/kg) • Tiempo de ebullición(min)

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes

Samamé (2017) en su tesis titulada “Determinación del poder calorífico de briquetas de carbón utilizando cantidades de residuos de biomasa” obtuvo como resultados que el poder calorífico de todos los tipos de briquetas elaboradas es igual, pero la briketa a base de aserrín tuvo mayor duración con un valor de 13,19 minutos para hervir un litro de agua con respecto a la segunda y tercera briketa a base de Bagazo y algarrobo respectivamente. El autor concluye que la briketa a base de aserrín tiene mejores resultados con respecto a la energía calorífica y eficiencia.

León y Alfaro (2021) en su investigación titulada “Elaboración de briquetas a partir de subproductos de Palma africana(*Elaeis guineensis*) y Arroz (*Oryza sativa L*)” determinaron que la briketa elaborada al 100 % con cáscara de arroz no permite la formación de la briketa, pero se tuvo una formulación de 50 % raquis de palma africana y 50 % de cáscara de arroz donde dio como resultado el valor de 15,76 Mj/kg de poder calorífico, este valor es menor al de la madera , pero es muy parecido al de las briquetas elaborados por subproductos del procesamiento de la madera,

maíz , etc.

Morales (2019) en su tesis titulado “Aprovechamiento del aserrín y viruta de pino (*Pinus* spp) para la producción y evaluación de briquetas, como energía alterna en la comunidad de san francisco pichátaro, Michoacán” concluyó que la briqueta con mayor poder calorífico fue la que tuvo los valores óptimos de : 1 litro de agua, 255 a 283 g de almidón de maíz y 255 a 300 g de viruta y aserrín, la briqueta tuvo las siguientes dimensiones de 9 a 10 cm de altura por 7,2 cm de diámetro en forma cilíndrica , la briqueta alcanzó un poder calorífico de 17,01 a 18,32 MJ/Kg.

Arévalo (2018) en su tesis titulada “Diseño de un sistema integrado para la producción de briquetas de Biomasa a partir del aprovechamiento de la cáscara de arroz en el distrito de San Hilarión, San Martín” tuvieron como resultado un poder calorífico de 1,1195,85 kcal/kg, dicho valor es superior al de la leña, se comprobó dentro del proceso de aglomeración, que, en la preparación de este, se debe usar agua fría y agua caliente para que posterior se pueda obtener una mezcla pegajosa.

Bernal y Falla del Castillo (2020) en su tesis titulada “Elaboración de briquetas de bagazo de *Saccharum officinarum* para mitigar las emisiones en el Centro Poblado El Invernillo, Pomalca” llegaron a la

conclusión que los resultados físicos y químicos de las briquetas de *Saccharum officinarum* son más eficientes en cuanto al tiempo de incinerado, emisiones generadas y el poder calorífico, entonces sería una alternativa factible en reemplazo de la leña y el carbón.

Huaman et al. (2021) en su tesis titulada “Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche, Jauja-2021” identificaron que la paja de cebada y el bagazo de maíz poseen características con alto poder calorífico obteniendo un valor de 16,2 MJ/Kg y 17,1 MJ/Kg respectivamente asimismo como resultado que la briqueta que tuvo mayor combustión fue la del tratamiento 2, esta briqueta contenía aglutinante de almidón de papa y su promedio de combustión fue de 55,16 minutos, y presentó un porcentaje de humedad con valor 9,91 %.

Montenegro (2022) en su tesis titulada “Evaluación del poder calorífico de briquetas de biochar obtenido a partir de residuos orgánicos” llegaron a la conclusión que la briqueta de biochar realizado con fécula de yuca tuvo un mejor resultado con un valor de 4 750,75 kcal/kg con lo que respecta al poder calorífico , a comparación de la briqueta a base de biochar más arcilla que obtuvo un valor menor de 4 287 kcal/kg; los valores

obtenidos comparados con el poder calorífico del carbón son similares , indicando que las briquetas elaboradas en el estudio son una alternativa viable y eco amigable como combustible.

Cunurana (2018) en su investigación titulada “Evaluación de briquetas obtenidas a partir de residuos de Poda de olivo y Orujo de aceituna como fuente de energía alternativa” realizó un diseño de mezclas para la obtención de las proporciones de materia prima utilizadas, teniendo como resultado que la briqueta compuesta por 10 % de orujo, 82 % de poda y 8 % de aglutinante, tuvo mejores resultados con lo que respecta al poder calorífico con un valor de 5 709,46 Kcal/kg que fue superior a los demás tratamientos que realizo. Concluyendo que la elaboración de briquetas a base de poda de olivo y orujo de aceituna usando el almidón como aglutinante, obteniendo un resultado positivo del poder calorífico siendo una opción de fuente de energía alternativa.

Espíritu (2021) en su tesis titulada “Producción de briquetas vegetales utilizando el aserrín de madera y fibras de semilla de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) para su uso como combustible sólido” obtuvo como resultado que la muestra con proporción de 50 % de aserrín

y 50 % de fibra de semilla de palma aceitera presentan mayor poder calorífico con un valor de 4 074 Kcal por kilogramo de muestra, indicando que estas pueden ser usadas para cocinas rurales, generadores de calor en zonas frías.

Villarroel et al. (2020) en su investigación titulada “Biocombustible Sólido a partir de residuos que generan los procesos agroindustriales del sector El Empalme” utilizó el diseño completamente al azar DCA para que pueda obtener la combinación óptima para la elaboración de las briquetas, teniendo 3 tipos de mezclas. El autor concluye que de todas las mezclas realizadas; la briqueta más eficiente estaba compuesta por 4 % de cáscara de arroz, 14 % de polvillo, 10 % de cuesco, 12 % de aserrín y 60 % de agua, tuvo un poder calorífico de 4 917,43 kcal/kg, un porcentaje de ceniza de 4,96 % y 11 % de humedad.

Barba (2020) en su tesis titulada “Propuesta de implementación de una línea de producción para la elaboración de briquetas de carbón a partir del bagazo, residuo generado de la caña de azúcar” obtuvo como resultados que el uso de los aglutinantes orgánicos como el almidón de yuca y almidón de arroz , favorecen a que la combustión de las briquetas no generan gases contaminantes a la atmósfera, pero el aglutinante de

yuca fue el que resultó como el mejor aglutinante para realizar briquetas , ya que presentó un mejor grado de asociación de partículas en cuanto a la formación de las briquetas. Concluyó que una composición de 30 % de bagazo y 5 % de carbonilla obtuvo la mayor cantidad de poder calorífico superior con 3 147,470 cal-g/°C.

Macía (2017) en su investigación titulada como “Evaluación de briquetas como biocombustible sólido a partir de residuos que generan los procesos agroindustriales en el sector el empalme” obtuvo como resultado que la muestra a base de 4 % de cáscara de arroz, 14 % de polvillo, 10 % de cuesco, 12 % de aserrín y 60 % de agua, tuvo diferencia significativa en cuanto al porcentaje de cenizas con un valor de 4,96 % , un valor de humedad de 11,98 % y finalmente el poder calorífico fue de 497,43 Kcal/kg. El autor determina que las variaciones de los distintos residuos agroindustriales si interfieren en el proceso de fabricación de las briquetas cuyo uso será como combustible.

Díaz (2018) en su tesis titulada como “Mezclas de biomasas y aglutinantes orgánicos para la mejora de las propiedades energéticas en la elaboración de briquetas” obtuvo como resultados que las briquetas elaboradas a partir de la proporción de 47 % de aglutinante y 53 % de

cáscara de cacao es la mejor proporción para la elaboración de briquetas de cacao ya que esta briqueta obtuvo un poder calorífico de 9 909,59 Kcal/kg y un porcentaje de cenizas de 8 %.

Chicaiza y Marcillo (2021) en su tesis titulada “Obtención de briquetas a partir del bagazo de caña de azúcar con la adición de aglutinante para su utilización como biocombustible” concluyeron que en el análisis realizado de la variación de porcentajes de la biomasa y el aglutinante obtuvieron que la briqueta 3 que estuvo compuesto por un 85 % de bagazo de caña de azúcar y 15 % de almidón de yuca, tuvo un poder calorífico de 1 8071 kJ/kg, 4,15 % de humedad, 11,03 % cenizas y tiempo de combustión de 150 minutos, tiempo de ebullición fue de 18 minutos.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Tipo de residuo

- **Cáscara de arroz**

La cáscara de arroz es el derivado de la producción de arroz, obtenido a través de la molienda de este producto, la cáscara representa un aproximado de la quinta parte en peso del producto principal recolectado, pero este porcentaje puede variar de acuerdo a las condiciones y cuidados que ha tenido el cultivo y el tipo de arroz (MIDAGRI, 2020).

Este residuo agroindustrial está caracterizado por tener una forma de canoa, posee un color amarillento y tiene una superficie rugosa, su tamaño depende de la variedad, usualmente mide entre 1 a 2 mm de ancho por 8 a 10 mm de largo, este representa el 30 al 40 % de su longitud. Con relación a su tamaño, una cáscara puede pesar entre 2,5 y 4,8 mg (Rojas, 2018).

Debido a que el arroz es uno de los alimentos más populares y abundantes en el mundo, se estima que el valor de producción de cáscara es de 500×10^6 m³ anuales; la producción se concentra en el continente asiático, primordialmente en China, del total de la producción mundial, el 80 % es consumido en esta zona, seguido de Medio Oriente y Latinoamérica, siendo los países Brasil, Perú y Colombia los que poseen mayor número de hectáreas sembradas de este cereal (Angulo y Viera, 2019).

Está caracterizado por tener una naturaleza fuerte, abrasiva y leñosa que representa a ser un material resistente a los factores ambientales, este residuo no es apto para el consumo humano ya que posee altos porcentajes de sílice que pueden causar daños a las personas que los consuman (Maguiña y Rosas, 2018).

La cáscara de arroz compone 2 glumas que son la lemma y la palea como se muestra en la Figura 1 (Paredes et al., 2021), este residuo posee un tejido vegetal que está compuesto bioquímicamente por elementos lignocelulósicos como la celulosa, hemicelulosa y lignina, la biomasa es aprovechada para obtener combustibles a partir de la descomposición térmica a elevadas temperaturas. (Lam et al, 2019)

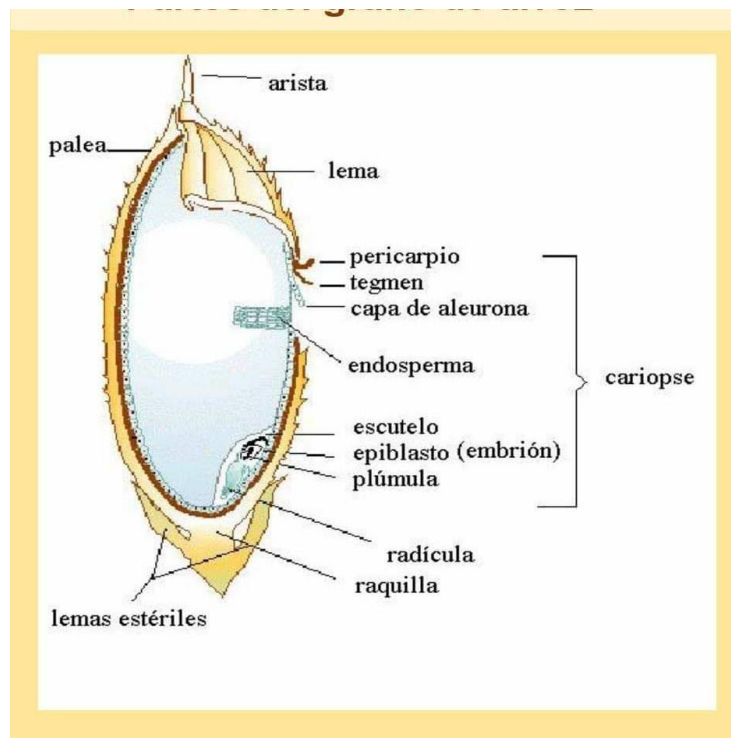


Figura 1

Partes de la cáscara de arroz.

Nota: Adaptado de *Rice structure and composition*, por Food and Agriculture Organization (FAO)

La composición química de la cáscara de arroz es el carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, azufre y cenizas como se visualiza en la Figura 2 (Cataño et al., 2021). El contenido de hidrógeno y carbono, son los que en la mayoría de los casos se oxidan durante el proceso de combustión debido a una reacción exotérmica estos al momento de realizar dicha combustión forman el dióxido de carbono y agua; estos componentes son los que contribuyen positivamente que el contenido del poder calorífico sea superior (Alcántara, 2020).



Figura 2

Composición química de la cáscara de arroz

Nota: Adaptado de La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral, por Prada y Cortés (2010).

Asimismo, por su alta composición de celulosa y sílice la cáscara de arroz posee un buen poder calorífico similar al de la madera (Marx, 2019), siendo una fuente energética recomendable para el aprovechamiento de esta materia prima en la elaboración de briquetas eco amigables debido a sus características físicas como combustible en el bajo valor de emisión de dióxido de carbono a comparación del carbón y la leña (Quiceno y Mosquera, 2010).

La celulosa es un polisacárido que tiene una composición de glucosa, materia rígida e insoluble, al contar con glucosa en su composición cuenta con varios grupos hidroxilo por molécula, estas tienen la oportunidad de generar una reacción química con grupos funcionales como el isocianato, debido a que los pares de electrones libres en cada oxígeno de los grupos hidroxilo (Vargas, et al., 2013).

- **Poda de olivo**

La poda de olivo, es una especie caracterizada por ser leñosa de tamaño medio, su fruto es la aceituna que tiene como subproducto la obtención de aceite (Royano, 2022); durante la cosecha de su fruto se genera la actividad del podado de la planta teniendo como residuo la poda del olivo; esta actividad tiene la finalidad de eliminar ramas o hijuelos para poder darle una forma a la estructura de la planta y poder lograr un equilibrio entre la proporción de las hojas y los frutos (INIA, 2022).

El residuo de poda de olivo puede causar problemas medioambientales es por eso que debe eliminarse, pero la forma en la que estos residuos son eliminados no son los correctos debido a que causan un impacto al ambiente porque en su mayoría de casos son quemados al aire libre ya que no pueden ser utilizados como abono orgánico porque favorecen a la generación de plagas y enfermedades en las tierras de los cultivos (Moya et al., 2018).

Este residuo es un material lignocelulósico que se genera cada año en las parcelas de cultivo, está constituido por tallos, hojas y troncos (Puentes, 2023); la composición de la poda de olivo es la celulosa, hemicelulosa y lignina como se visualiza en la Figura 3 (Martínez, 2018).



Figura 3

Composición química de la poda de olivo

Nota: Elaboración propia.

La celulosa, consta con estructuras cristalina y amorfa, estas disponen largas cadenas rectas. Dentro de su composición se encuentran

hidróxidos que están distribuidos de manera uniforme en ambos lados de los monómeros de glucosa, permitiendo la formación de puentes de hidrogeno entre la celulosa y los polímeros (López, 2020).

La poda de olivo es un residuo lignocelulósico cuya composición elemental está dominada principalmente por carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), con pequeñas cantidades de nitrógeno (N) y azufre (S). Estos elementos determinan sus propiedades energéticas y su comportamiento durante procesos termoquímicos como la combustión como se muestra en la Figura 4.

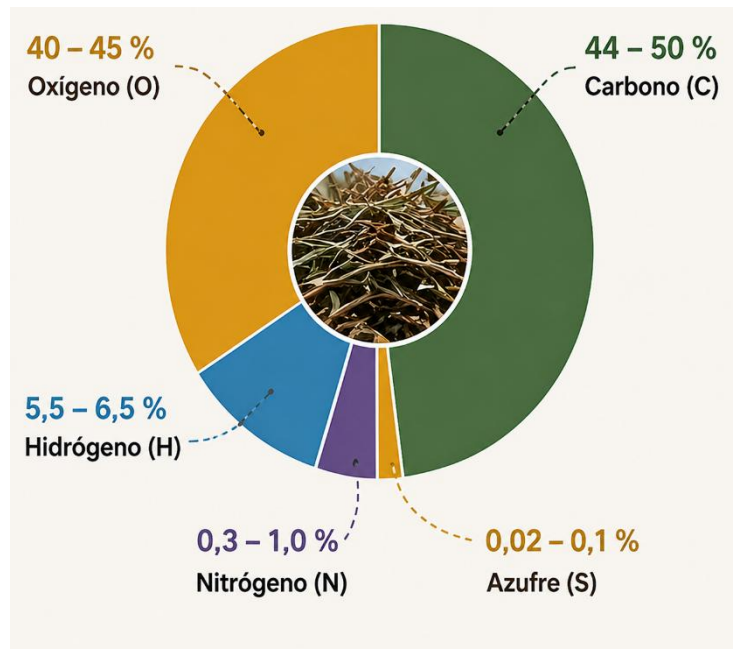


Figura 4

Composición elemental de la poda de olivo

Nota: Elaboración propia.

El carbono constituye el componente mayoritario, con valores cercanos al 44–45%, siendo el principal responsable de la generación de energía durante la oxidación. El hidrógeno, con valores aproximados de 6–7%, contribuye al incremento del poder calorífico debido a la formación de vapor de agua durante la combustión. Por otro lado, el oxígeno forma parte de la estructura química de la biomasa y, aunque es esencial, reduce el poder calorífico relativo al encontrarse parcialmente oxidado.

Asimismo, el contenido de nitrógeno y azufre es muy bajo, generalmente inferior al 1%, lo que representa una ventaja ambiental, ya que limita la formación de compuestos contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO_2) durante su aprovechamiento energético (Olivares, 2018).

- **Briquetas ecológicas**

Las briquetas ecológicas son combustibles sólidos densificados producidos mediante la compactación de residuos de biomasa, estos tienen el objetivo de darle un segundo uso a los materiales orgánicos siendo transformados como biocombustibles con propiedades fisicoquímicas y térmicas de mejor calidad. (Fonseca, 2011)

El tamaño y la forma de las briquetas son parámetros fundamentales que influyen en su eficiencia de combustión, facilidad de manejo y almacenamiento. Generalmente, las briquetas presentan formas

cilíndricas, prismáticas o tipo bloque como se visualiza en la Figura 5, siendo las cilíndricas las más utilizadas en aplicaciones energéticas debido a su facilidad de fabricación y mejor comportamiento térmico (Grover y Mishra,2020).



Figura 5

Forma y dimensiones de briquetas

Nota: Elaboración propia.

En cuanto al tamaño, las briquetas suelen presentar diámetros que oscilan entre 30 y 100 mm y longitudes variables entre 30 y 300 mm como se visualiza en la Figura 5, dependiendo del tipo de equipo de compactación empleado. Las briquetas con orificio central (tipo anular) son ampliamente utilizadas, ya que permiten una mejor circulación de aire durante la combustión, favoreciendo una oxidación más eficiente y una combustión más uniforme.

Asimismo, una geometría homogénea contribuye a mejorar la

densidad aparente del biocombustible, facilitando su transporte y reduciendo pérdidas por fragmentación. Estas características hacen que el diseño físico de la briqueta sea un factor clave en su desempeño energético (Kaliyan y Morey ,2009).

3.2.2 Propiedades fisicoquímicas

- **Densidad**

La densidad es una característica principal de las briquetas ecológicas debido a que si una briqueta es más densa se facilitara la manipulación, almacenaje y el debido transporte (Huanca, 2017).

Según Kaliyan y Morey (2009) indica que existen factores que van a influir en la densidad de las briquetas, siendo dos tipos:

- Cuanto mayor sea la densidad de la materia prima que se utilicé, tendremos un resultado de una briqueta con mayor densidad.
 - El proceso de fabricación de briquetas incluye la presión que se debe ejercer al momento de la producción de estas, es por eso que en las briquetas con el solo hecho de tener los datos de la masa y el volumen podemos obtener la densidad aproximada del producto final.
- **Porcentaje de humedad**

Es un factor caracterizado por ser crítico en los biocombustibles de biomasa residual, debido a que determinara la energía que se podemos

obtener durante la combustión. Cuando se realiza el quemado de la biomasa, se necesita primero evaporar el agua para que se pueda disponer del calor de este, es por eso que cuanto más alto es el contenido de la humedad el valor calorífico será menor (Tuesta, 2016).

- **Porcentaje de cenizas**

Las cenizas son los residuos que se generan del producto de la combustión, la diferencia entre la masa inicial de la briqueta y la masa de las cenizas que se obtienen, son datos usados para poder obtener el porcentaje de cenizas (Tirado, 2015).

Existen valores típicos de las cenizas o también llamados residuos sólidos no quemados, estos valores varían entre 2 y 5 %, se sabe que si el valor de porcentaje de ceniza es mayor al 15 % será indicador que el rendimiento energético es menor ya que no es posible aprovechar la energía útil y esto tiende a generar problemas de sinterización (Villarreal et al., 2020).

3.2.3 Propiedades térmicas

- **Poder calorífico**

Es el calor específico de una combustión, esta expresada en Kcal/kg expresando la máxima energía que puede liberar la unión química entre el comburente y un combustible, que a su vez es igual a la energía que va a mantener unidos los átomos en las moléculas de combustible

(González y Rosales, 2016).

El análisis del valor calorífico de las briquetas está relacionados al porcentaje de oxígeno que se requiere para la combustión, esto quiere decir que mientras mayor sea la oxidación del combustible, se necesitará un menor valor de oxígeno indicando un valor calorífico menor, también se relaciona a que este valor calorífico se verá limitado debido al contenido de humedad (AGICO's, 2019).

- **Tiempo de ebullición**

Se podrá determinar la eficiencia que tienen las briquetas, teniendo en cuenta el tiempo que se empleara para que el agua alcance el punto de ebullición que son los 100 °C (Silva et al., 2022).

- **Tiempo de encendido**

El tiempo de encendido se refiere al promedio de tiempo que toma encender las briquetas. (Rotich, 1998)

3.3 Definición de términos

3.3.1 Briquetas

Es un producto renovable, ecológico y eco amigable, ya que está caracterizado como un biocombustible sólido, tienen una forma cilíndrica o también de bloques rectangulares, tienen alta capacidad calorífica y densidad, este puede ser usado como sustituto de la leña tradicional y el carbón, están elaborados a base de residuos industriales forestales,

agroindustriales, ganaderos, naturales, etc (Garcia, 2021).

3.3.2 Biomasa

Es un tipo de energía renovable, que se genera cuando se realiza la combustión de materia orgánica, que es producida u originada a base de las distintas actividades antrópicas que se realizan en el día a día (Rivera et al, 2023).

3.3.3 Cáscara de arroz

Se obtiene de la molienda del grano del arroz, este insumo agrícola es obtenido luego de la separación de la cáscara del grano, incluyendo la lema y pálea. (Park et al, 2003).

3.3.4 Poda de olivo

Es la secuencia de operaciones que se aplican a los árboles de olivo, lo cual modifica su crecimiento, esto acción limita y vigoriza a las ramas con el fin de darles forma y obtener la máxima productividad, e incluso permite restaurar o renovar parte o la totalidad del árbol. (Barranco et al., 2008).

3.3.5 Aglutinante

Es un componente viscoso que tiene como tarea aglutinar o adherir partículas pigmentadas a la superficie sobre la que se aplica (Calle y Rodriguez, 2022).

3.3.6 Combustión

Es una reacción química exotérmica en la cual se produce la liberación de energía en forma de luz y calor. Esta reacción ocurre entre un combustible y un oxidante (Montenegro, 2022).

3.3.7 Poder calorífico

Es una potencia calorífica, que indica la cantidad de calor que se puede obtener producto de la combustión de la cantidad unitaria de materiales en condiciones ideales, generando una oxidación de forma completa (Bermúdez et al., 2023).

3.3.8 Densidad

Es una propiedad física, que indica la cantidad de materia que hay en un determinado espacio, ya que está relacionado con la cantidad de masa de una sustancia por unidad de volumen (Bueche, 1991).

3.3.9 Humedad

Es una característica más significativa ya que indirectamente afecta el poder calorífico, debido a que mayor contenido de humedad habrá menor energía de combustión (Isern, 2021).

3.3.10 Cenizas

Es el conjunto de residuos que son el producto de la incineración de algún material que está compuesto por sustancias inorgánicas no

combustibles, está caracterizada por ser un material en forma de polvo (Kaliyan y Morey, 2009).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Descripción de la investigación

La investigación tiene un alcance explicativo con un enfoque cuantitativo experimental que considera las propiedades caloríficas de las briquetas que se puedan obtener y todos los datos que podemos procesar, ordenar y obtener en el transcurso de la investigación.

4.2 Diseño experimental

El tipo de diseño empleado es experimental aplicando un DCA como se muestra en la Figura 6, este diseño incluye 4 tratamientos con 3 repeticiones por cada tratamiento, teniendo como variable independiente la cáscara de arroz y residuos de poda de olivo para el análisis de las propiedades fisicoquímicas y las propiedades térmicas.

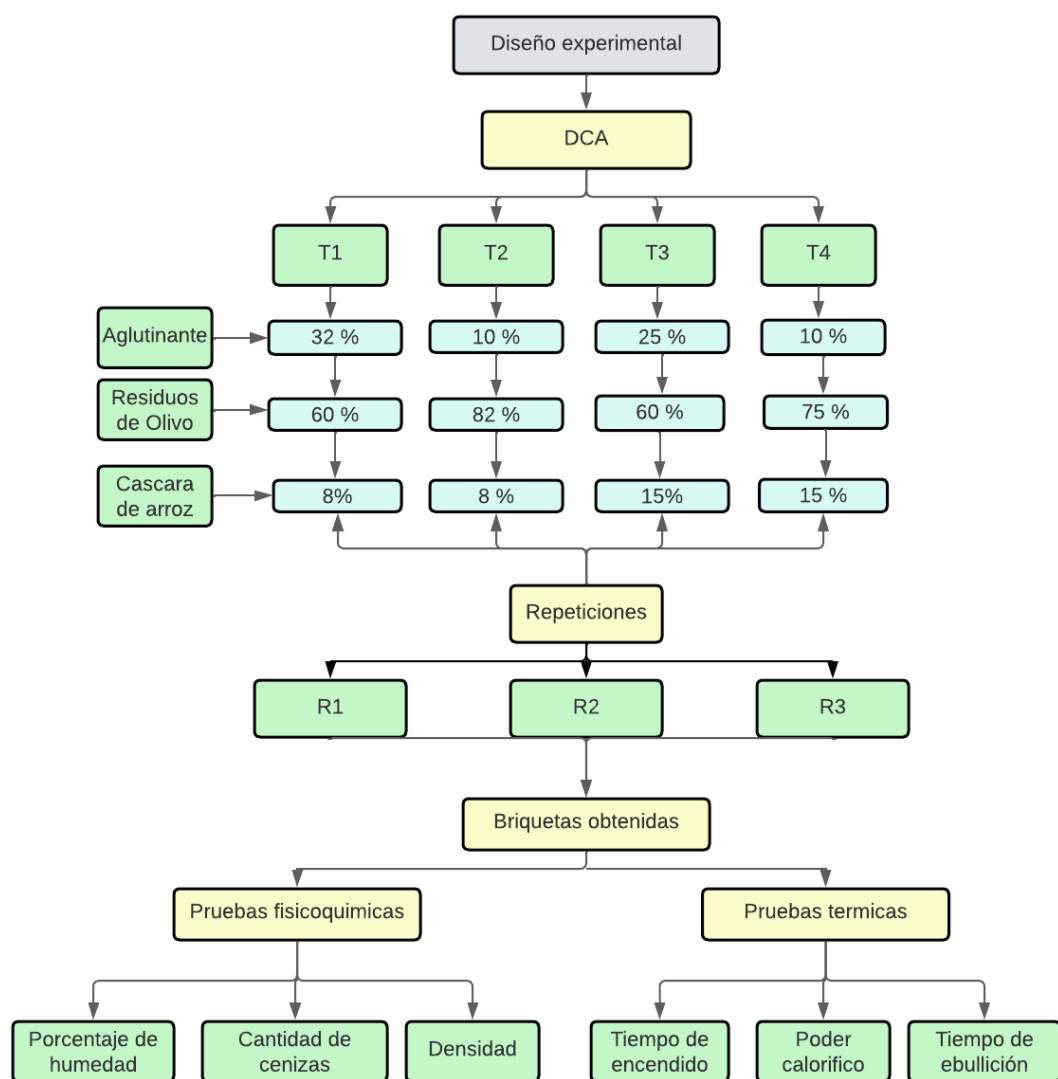


Figura 6

Diseño experimental para las propiedades fisicoquímicas de las briquetas

4.3 Lugar de estudio

Departamento de Tacna, provincia de Tacna, distrito de coronel Gregorio Albarracín Lanchipa.

4.3.1 Población y muestra

- **Población**

Se tomará como población una parcela productora de olivo de la Yarada los Palos y a la empresa Molino Arrocero santa clara E.I.R.L.

- **Muestra**

La muestra está constituida por 5kg de cáscara de arroz y 5 kg de residuos de poda de olivo

4.4 Materiales y/o instrumentos de apoyo

4.4.1 Materiales

- Poda de olivo
- Cáscara de arroz
- Molde de briqueta
- Aglutinante de yuca
- Bandejas
- Malla de 0,3 mm
- 1 L de agua

- Cuaderno
- Lapicero
- Agua
- Olla
- Parrilla

4.4.2 Equipos

- Balanza
- Briquetadora
- Cocina
- Laptop
- Estufa
- Impresora
- Cámara

4.5 Procedimiento y análisis de objetivos

Como se muestra en la Figura 7 el diagrama de flujo del proceso de elaboración de briquetas.



Figura 7

Procedimiento de elaboración de briquetas a base de cáscara de arroz y poda de olivo

4.5.1 Evaluación de las características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz

La elaboración estará realizada de acuerdo al diseño experimental de un DCA, como se visualiza en la Figura 6.

Se realizará la evaluación de las características fisicoquímicas de las briquetas donde se aplicará las metodologías usadas por Cunurana (2018), dicho autor determina el contenido de cenizas por diferencias de peso, el contenido de humedad se determinará por diferencia de peso y la densidad mediante la masa sobre el volumen.

4.5.2 Evaluación de las características térmicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz

La elaboración estará basada en el diseño experimental aplicando un DCA como se muestra en la Figura 6.

La evaluación de las características térmicas de las briquetas se determinará aplicando la metodología usada por Cunurana (2018) determina, el tiempo de ebullición se determina mediante la diferencia del tiempo inicial con el tiempo final considerando que esta prueba se realiza a base de 1 litro de agua , asimismo el poder calorífico se obtiene utilizando los datos de contenido de carbono fijo , materia volátil y coeficiente entre contenido de materia volátil y contenido de cenizas,

asimismo el tiempo de encendido de una briqueta a base de los datos cronometrados desde la exposición a una fuente de calor constante hasta que la muestra mantenga una combustión estable por si sola.

4.6 Métodos estadísticos utilizados

Se utilizó el paquete de software Spss con el fin de tener resultados confiables.

Así mismo, se utilizó este programa para obtener las tablas y figuras para la fácil comprensión de la información, también para demostrar la hipótesis de estudio a través del análisis de varianza al 95 % de confianza.

En la Tabla 2 se presenta el modelo del análisis de varianza que se utilizó para validar estadísticamente los resultados obtenidos.

Tabla 2

Análisis de varianza para los parámetros analizados

Factor de variabilidad (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F calculado (Fc)	F tablas (Ft)
Tratamientos					
Error					
Total					
CV=%					

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Evaluación de las características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz

En la Tabla 3 se muestra el resumen de todos los valores que se obtuvieron de las características fisicoquímicas evaluadas de las briquetas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz como biocombustible en la ciudad de Tacna.

Tabla 3

Valores obtenidos de las características fisicoquímicas de las briquetas

Tratamiento	Cáscara de arroz (%)	Poda de olivo (%)	Aglutinante (%)	Porcentaje de cenizas (%)	Porcentaje de humedad (%)	Densidad (Kg/m ³)
T1	0,08	0,6	0,32	7,15	8,30	683,55
T2	0,08	0,82	0,10	7,60	9,33	694,35
T3	0,15	0,6	0,25	9,37	8,78	662,53
T4	0,15	0,75	0,10	10,35	9,01	677,86

- Porcentaje de cenizas

En la Tabla 4 se muestra el análisis de varianza del porcentaje de cenizas en las briquetas elaboradas a base de poda de olivo y cáscara de arroz, el cual indica que se tuvo una diferencia significativa entre los tratamientos y el porcentaje de cenizas y su CV es de 15,9%.

Tabla 4

Análisis de varianza para el porcentaje de cenizas de las briquetas ecológicas

F.V.	SC	GL	CM	Fc	Ft
Tratamientos	20,226	3	6,742	112,898	0,001
Error	0,478	8	0,060		
Total (Corr.)	20,703	11			
CV= 15,9 %					

En la Tabla 5 se demostró mediante la prueba de tukey, que no existen diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T2, asimismo se formó el grupo entre los tratamientos T3 y T4, el tratamiento T1 fue el que tuvo un menor porcentaje de cenizas con un valor de 7,15 % y el tratamiento T4 presento un mayor porcentaje de cenizas con un valor de 10,35 %.

Tabla 5

Prueba de tukey para el porcentaje de cenizas (%) de las briquetas ecológicas

Tratamientos	Casos	Media	Significancia
1	3	7,15	A
2	3	7,60	A
3	3	9,36	b
4	3	10,35	c

En la Figura 8, se observa que el porcentaje de cenizas presenta una tendencia creciente desde el tratamiento T1 (7,15 %) hasta el T4 (10,35 %). El tratamiento T3 (9,37 %) y T4 muestran valores más elevados en comparación con T1 y T2, lo que indicaría una mayor presencia de material inorgánico en estas formulaciones.

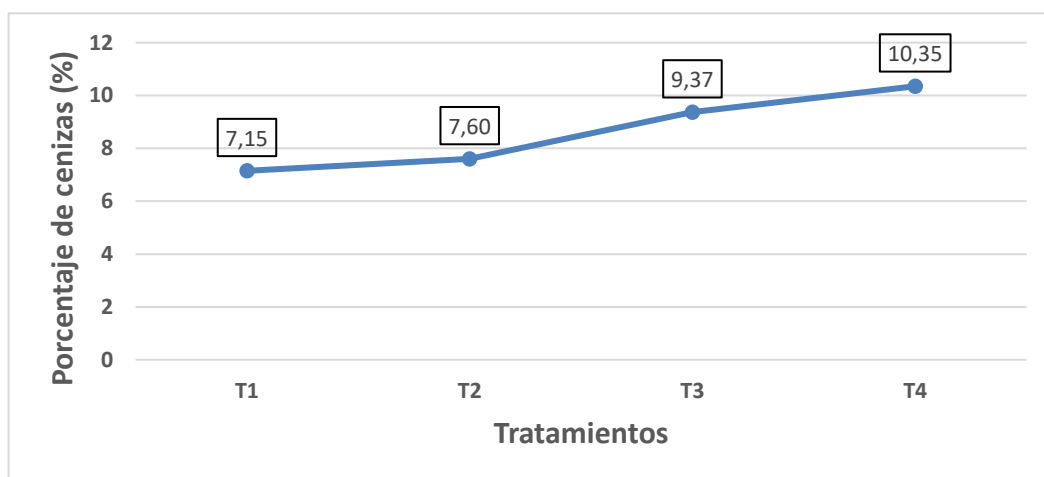


Figura 8

Resultados de porcentaje de cenizas (%) de las briquetas

- **Densidad**

En la Tabla 6 se muestra el análisis de varianza de la densidad en las briquetas elaboradas a base de poda de olivo y cáscara de arroz, el cual indica que existe una relación estadísticamente significativa entre los tratamientos y la densidad con un nivel de confianza al 95 %.

Tabla 6*Análisis de varianza para la densidad de las briquetas ecológicas*

F.V.	SC	GL	CM	Fc	Ft
Tratamientos	1 582,417	3	527,472	78,125	0,001
Error	54,013	8	6,752		
Total (Corr.)	1 636,430	11			

CV= 1,79 %

En la Tabla 7 se muestra los grupos formados, entre los grupos del T4 y T1 no existe diferencia significativa, también se observa que el T3 obtuvo el menor valor de densidad con 662,53 kg/m³ y el T2 el mayor valor de densidad con 694,35 kg/m³.

Tabla 7*Prueba de tukey para la densidad (kg/m³) de las briquetas ecológicas*

Tratamientos	Casos	Media	Significancia
3	3	662,53	a
4	3	677,85	b
1	3	683,55	b
2	3	694,35	c

En la Figura 9, la densidad de las briquetas presenta variaciones entre tratamientos, siendo T2 el que alcanza el mayor valor (694,35 kg/m³),

seguido de T1 y T4. El tratamiento T3 muestra la menor densidad (662,53 kg/m³). Estas diferencias pueden estar relacionadas con la proporción de los materiales y el grado de compactación durante la elaboración.

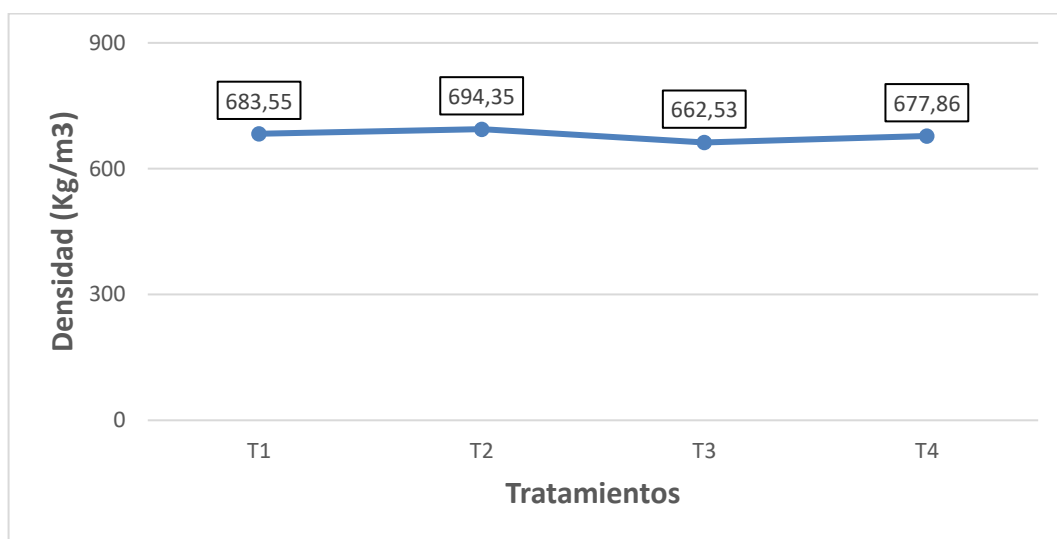


Figura 9

Resultados de densidad (kg/m³) de briquetas

- **Porcentaje de humedad**

En la Tabla 8 se muestra el análisis de varianza del porcentaje de humedad en las briquetas elaboradas a base de poda de olivo y cáscara de arroz, el cual indica que existe una relación estadísticamente significativa entre los tratamientos y el porcentaje de humedad y su coeficiente de variabilidad del 4,54 %.

Tabla 8

Análisis de varianza para el porcentaje de humedad de las briquetas ecológicas

F.V.	SC	GL	CM	Fc	Ft
Tratamientos	1,695	3	0,565	53,806	0,001
Error	0,084	8	0,010		
Total (Corr.)	1,779	11			

CV= 4,54 %

En la Tabla 9 se demostró mediante la prueba de tukey, que no existen diferencias significativas entre los tratamientos T4 y T3, sin embargo, si existen diferencias entre los tratamientos T1 y T2, el tratamiento T1 fue el que tuvo un menor porcentaje de humedad con un valor de 8,3 % y el tratamiento T4 presento un mayor porcentaje de humedad con un valor de 9,33 %.

Tabla 9

Prueba de tukey para el porcentaje de humedad (%) de las briquetas ecológicas

Tratamientos	Casos	Media	Significancia
1	3	8,30	a
3	3	8,78	b
4	3	9,00	b
2	3	9,33	c

En la Figura 10, el porcentaje de humedad muestra ligeras

variaciones entre los tratamientos. El valor más alto corresponde a T2 (9,33 %), mientras que el más bajo se presenta en T1 (8,30 %). En general, los valores se mantienen dentro de un rango relativamente uniforme, lo que sugiere condiciones similares en el proceso de secado de las briquetas.

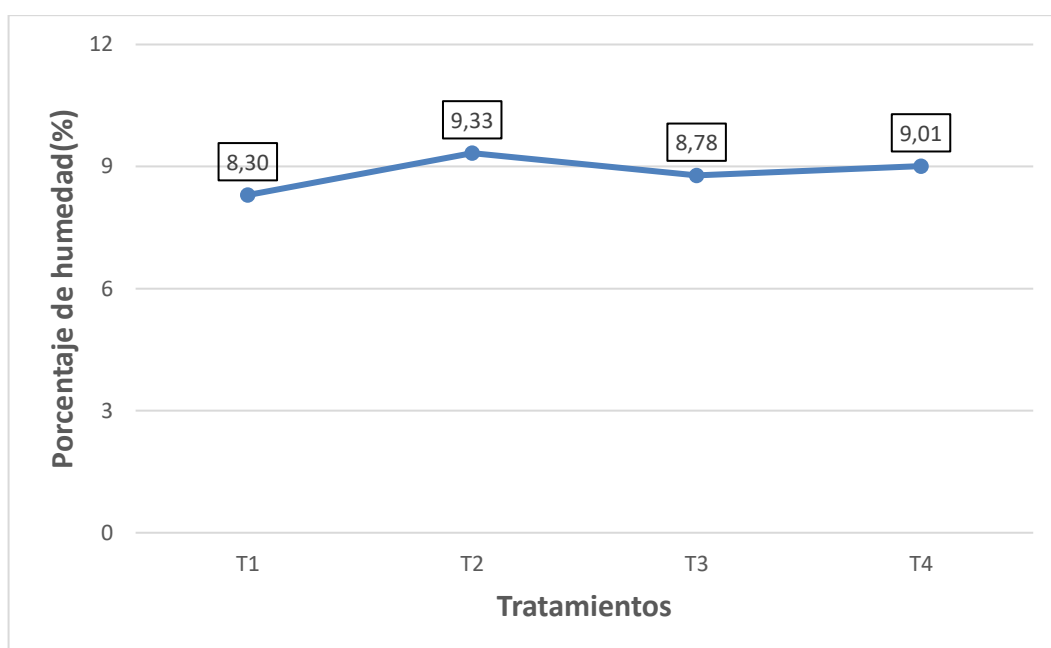


Figura 10

Resultados de porcentaje de humedad (%) de las briquetas

5.2 Evaluación de las características térmicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz

En la Tabla 10 se muestra el resumen de todos los valores que se obtuvieron de las características térmicas evaluadas de las briquetas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz como biocombustible en la ciudad de Tacna.

Tabla 10*Valores obtenidos de las características térmicas de las briquetas*

Tratamiento	Cáscara de arroz (%)	Poda de olivo (%)	Aglutinante (%)	Poder calorífico (kcal/kg)	Tiempo de ebullición (min)	Tiempo de encendido (min)
T1	0,08	0,6	0,32	4 872,24	17,67	143,33
T2	0,08	0,82	0,10	5 670,13	14,67	171,00
T3	0,15	0,6	0,25	4 881,87	18,33	139,67
T4	0,15	0,75	0,10	5 471,66	20,33	157,67

- **Poder calorífico**

En la Tabla 11 se muestra el análisis de varianza del poder calorífico en las briquetas que se elaboraron a base de poda de olivo y cáscara de arroz el cual indica que si existe una diferencia significativa ($p=0,0001$) entre los tratamientos y el poder calorífico y su coeficiente de variabilidad es de 7,08%

Tabla 11*Análisis de varianza para el poder calorífico de las briquetas ecológicas*

FV	SC	GL	CM	Fc	Ft
Tratamientos	1 503 464,373	3	501 154,791	1 964,73	0,001
Error	2 040,599	8	255,075		
Total (Corr.)	1 505 504,971	11			
CV=7,08 %					

En la Tabla 12 se demostró mediante la prueba de tukey, que los tratamientos T3 y T1 no tuvieron diferencias significativas. Sin embargo, el tratamiento T2 fue el que tuvo un mayor poder calorífico con un valor de 5 870,13 Kcal/kg y el tratamiento T3 presento menor poder calorífico con un valor de 4 872,24 Kcal/kg.

Tabla 12

Prueba de tukey para el poder calorífico (kcal/kg) de las briquetas ecológicas

Tratamientos	Casos	Media	Significancia
T1	3	4 872,2433	a
T3	3	4 881,8700	a
T4	3	5 471,6633	b
T2	3	5 670,1300	c

En la Figura 11, el poder calorífico muestra variaciones entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T2 presenta el valor más alto (5 670,13 kcal/kg), seguido de T4 (5 471,66 kcal/kg). Por otro lado, T1 (4 872,24 kcal/kg) y T3 (4 881,87 kcal/kg) presentan valores menores. Esto evidencia que la composición del tratamiento influye directamente en la capacidad energética de las briquetas.

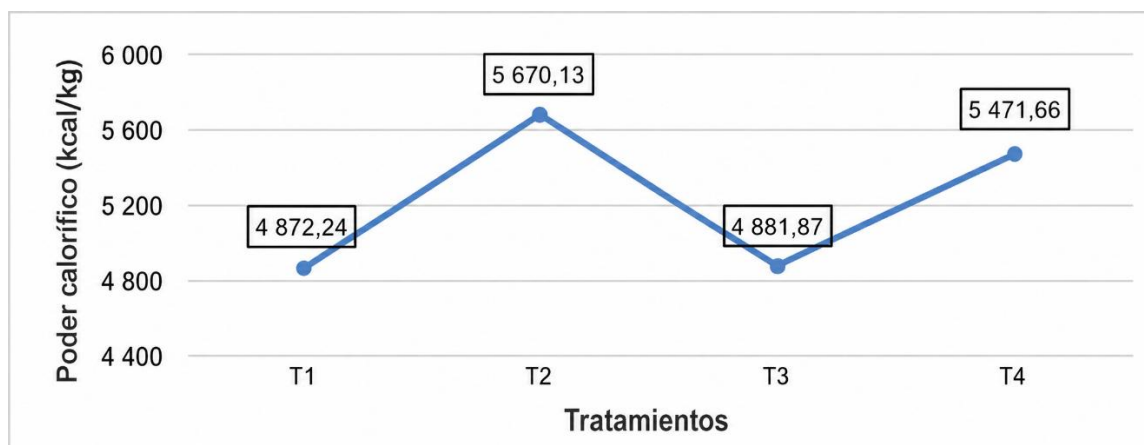


Figura 11

Resultados de poder calorífico (kcal/kg) de las briquetas

- Tiempo de ebullición

En la Tabla 13 se muestra el análisis de varianza del tiempo de ebullición en las briquetas elaboradas a base de poda de olivo y cáscara de arroz, el cual indica que si se tuvo una diferencia significativa ($p=0,001$) entre los tratamientos y el tiempo de ebullición y su coeficiente de variabilidad del 12,27 %.

Tabla 13

Análisis de varianza para el tiempo de ebullición de las briquetas ecológicas

F.V.	SC	GL	CM	Fc	Ft
Tratamientos	49,583	3	16,528	49,583	0,001
Error	2,667	8	0,333		
Total (Corr.)	52,250	11			

CV=12,27%

En la Tabla 14 se demostró mediante la prueba de tukey, que los tratamientos T1 y T3 no tienen diferencias significativas. Sin embargo, el tratamiento T4 fue el que presento un mayor tiempo de ebullición con un valor de 20,33 minutos y el tratamiento T2 presento un menor tiempo de ebullición con un valor de 14,67 minutos.

Tabla 14

Prueba de tukey para el tiempo de ebullición (min) de las briquetas ecológicas

Tratamientos	Casos	Media	Significancia
2	3	14,67	a
1	3	17,67	b
3	3	18,33	b
4	3	20,33	c

En la Figura 12, el tiempo de ebullición presenta diferencias notables entre tratamientos. El menor tiempo corresponde a T2 (14,67 min), seguido de T3 (18,33 min) y T1 (17,67 min), mientras que T4 presenta el mayor tiempo (20,33 min). Estos resultados indican que el tratamiento T2 alcanza una mayor eficiencia térmica al requerir menor tiempo para llevar el agua a ebullición.

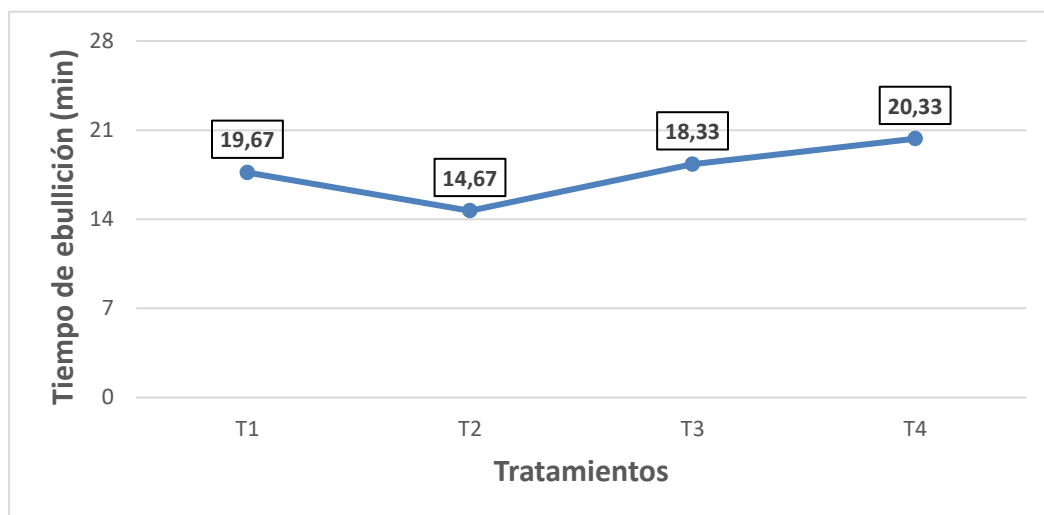


Figura 12

Resultados de tiempo de ebullición(min) de las briquetas

- Tiempo de encendido

En la Tabla 15 se muestra el análisis del tiempo de encendido en las briquetas elaboradas a base de poda de olivo y cáscara de arroz, el cual indica que existe una relación estadísticamente significativa entre los tratamientos y el tiempo de encendido.

Tabla 15

Análisis de varianza para el tiempo de encendido de las briquetas ecológicas

F.V.	SC	GL	CM	Fc	Ft
Tratamientos	1 850,917	3	616,972	24,679	0,001
Error	200	8	25		
Total (Corr.)	2 050,917	11			

CV= 8,9%

En la Tabla 16 se demostró mediante la prueba de tukey, que los

tratamientos T1 y T3 no tienen diferencias significativas, al igual que los T4 y T2. Sin embargo, el tratamiento T2 fue el que presento un mayor tiempo de encendido con un valor de 171 minutos y el tratamiento T3 presento un menor tiempo de encendido con un valor de 139,67 minutos.

Tabla 16

Prueba de tukey para el tiempo de encendido (min) de las briquetas ecológicas

Tratamientos	Casos	Media	Significancia
3	3	139,67	a
1	3	143,33	a
4	3	157,67	b
2	3	171,00	c

En la Figura 13, el tiempo de encendido varía entre los tratamientos, siendo T2 el que presenta el mayor tiempo (171,00 min), seguido de T4 (157,67 min) y T1 (143,33 min). El tratamiento T3 muestra el menor tiempo encendido (139,67 min). Estas diferencias reflejan la influencia de la composición en la duración de combustión de las briquetas.

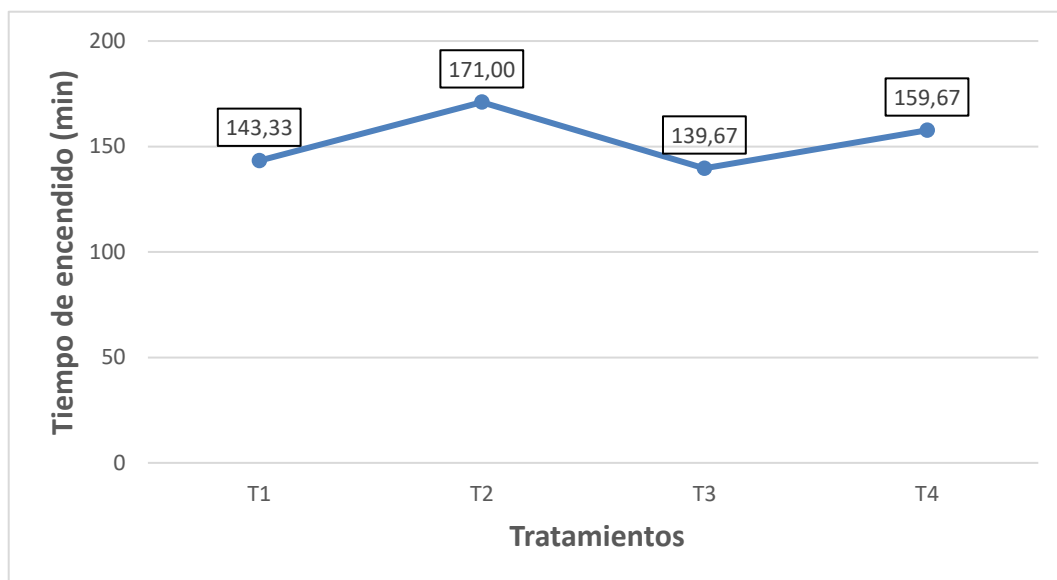


Figura 13

Resultados de tiempo de encendido (min) de las briquetas

5.2.1 Análisis de la mejor eficiencia de las briquetas obtenidas

Las características fisicoquímicas y térmicas resultaron con significancia estadística, cuya finalidad fue el maximizar el poder calorífico debido a que esta propiedad define a un combustible como tal, el que las briquetas presenten altos poderes caloríficos es indicador de que son buenos combustibles.

Asimismo, el tratamiento 2 tuvo el mejor poder calorífico con un valor de 5 670,13 Kcal/kg tuvo la proporción de 8 % de cáscara de arroz, 82 % de poda de olivo y 10 % de aglutinante siendo mostradas en la Tabla 3; dicho tratamiento presento el mayor tiempo de duración de encendido con un valor de 171 minutos como se observa en la Tabla 17.

Tabla 17

Proporción óptima de componentes que maximizan el poder calorífico y tiempo de encendido

Poder calorífico: 5 670,13 Kcal/kg	
Tiempo de encendido: 171 minutos	
Componente	Proporción de mezcla (%)
Cáscara de arroz	8
Poda de olivo	82
Aglutinante de yuca	10

5.3 Discusiones

5.3.1 Evaluación de las características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz

Es interesante analizar las características fisicoquímicas de las briquetas a base de residuos, el tratamiento 2 obtuvo un valor de densidad de 696,26 Kg/m³, es por eso que Niño Cano (2020) con su investigación evidencia que a menor contenido de cáscara de arroz obtuvo una densidad de 1 177,47 Kg/m³, asimismo Dragusanu et al. (2022) obtuvo en su T4 a base de residuos de cáscara de arroz una densidad de 720,24 Kg/m³.

En cuanto a la humedad el tratamiento 1 obtuvo el menor valor de 8,30 % , teniendo en cuenta que todos los tratamientos cumplieron lo establecido según la norma , es por eso que vemos que Pérez (2017) en la elaboración de briquetas a base de mazorca de cacao obtuvo un valor promedio de 8,02 % de humedad este valor se encuentra dentro del rango y sigue cumpliendo , pero esta diferencia se debe a que este tipo de residuo por naturaleza posee más humedad a diferencia de la cascara de arroz y la poda de olivo; también Gonzáles (2025) en su estudio a base de residuos lignocelulósicos obtuvo un valor de humedad mínimo de 8,7 % estando dentro del rango que establece la norma.

Tenemos que nuestro porcentaje de ceniza en la briqueta de proporción 8 % de cáscara de arroz, 82 % de poda de olivo y 10 % de aglutinante de yuca es de 7,60 % pero tenemos a Días (2018) a partir de la proporción de 47 % de aglutinante y 53 % de cáscara de cacao es la mejor proporción para la elaboración de briquetas de cacao ya que esta tiene un porcentaje de cenizas de 8 %, asimismo tenemos a Macía (2017) teniendo un valor de cenizas de 4,96 % de las briquetas a base de 4 % de cáscara de arroz, 14 % de polvillo, 10 % de cuesco, 12 % de aserrín y 60 % de agua siendo un valor bajo de porcentaje de cenizas a base de estos residuos.

5.3.2 Evaluación de las características térmicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz

El hallazgo más importante en la investigación son los valores del poder calorífico (5 670,13 Kcal/kg) que corresponden a la mezcla compuesta por 8 % de cáscara de arroz , 82 % de poda de olivo y 10 % de aglutinante de yuca , este resultado es superior a los obtenido por Huaman et al. (2021) las briquetas a base de residuos agrícolas presento un valor de 16,2 MJ/kg y 17,1 MJ/kg utilizando almidón de papa , tenemos también a Bernal y Falla del Castillo (2020) que indican que las briquetas a bases de residuos agroindustriales poseen un buen poder calorífico; con respecto al aglutinante de yuca Montenegro (2022) obtuvo que la briqueta que se hizo a base de almidón de yuca tiene un valor de 4 287 Kcal/kg de poder calorífico, también Barba (2020) aplica el uso de aglutinante de yuca en la elaboración de las briquetas y tiene un valor de poder calorífico de 3 147,470 cal/g; también Villaroel et al. (2020) tiene las briquetas a base del residuo de cáscara de arroz que tienen un valor de poder calorífico de 4 917,43 kcal/kg , pero Arévalo (2018) en la elaboración de briquetas de cáscara de arroz obtuvo un poder calorífico de 1 195.85 kcal/kg ; también superior al valor obtenido por León y Alfaro (2021) donde las briquetas tuvieron un valor de 15,76 MJ/kg con un porcentaje de cáscara de arroz de

50 %, tenemos también a Morales (2019) donde las briquetas tuvieron un poder calorífico de 17,01 a 18,32 MJ/kg

De forma similar tenemos los valores en cuanto al tiempo de ebullición es de 14,67 minutos que corresponden a la mezcla compuesta por 8 % de cáscara de arroz, 82 % de poda de olivo y 10 % de aglutinante de yuca, Samamé (2017) tiene un valor de 13,19 minutos para hervir agua con las briquetas a base de residuos de biomasa, así mismo tenemos a Chucaiza y Marcillo (2021) tiene un valor superior a los valores con un dato de 18 minutos de tiempo de ebullición de agua.

CONCLUSIONES

En esta tesis se obtuvo que las briquetas obtenidas a partir de poda de olivo y cáscara de arroz en Tacna resultaron ser un biocombustible ya que ayudaron al aprovechamiento de residuos agroindustriales que no recibían un tratamiento adecuado para su aprovechamiento y tenían una disposición final del incinerado de estos mismos generando gases de efecto invernadero.

Los resultados obtenidos evidencian que el tratamiento 2 cumplen las características fisicoquímicas que establecen las normas internacionales como es la NTC 2060, teniendo una densidad de 694,35 Kg/m³, dicho valor está dentro del rango que indica un valor mayor a 600 Kg/m³, así mismo se tuvo un valor de porcentaje de cenizas de 7,60 % y un porcentaje de humedad de 9,33 % cumpliendo el rango de los valores que nos indica la norma.

La formulación compuesta por 8 % de cáscara de arroz, 82 % de poda de olivo y 10 % de aglutinante de yuca (tratamiento 2) permitió maximizar significativamente las propiedades térmicas de las briquetas. Se alcanzó un poder calorífico de 5 670,13 kcal/kg y un tiempo de combustión de 171 minutos, evidenciando un alto rendimiento energético. Estos

resultados posicionan a esta mezcla como la más eficiente del estudio, demostrando su potencial como sustituto parcial de combustibles tradicionales.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el realizar un análisis del aprovechamiento de residuos de mercado de la ciudad de Tacna para la elaboración de briquetas.

Profundizar en el estudio del comportamiento de distintos tipos de aglutinantes en la elaboración de briquetas a partir de cáscara de arroz y poda de olivo, analizando su influencia en las propiedades fisicoquímicas y térmicas, a fin de optimizar la calidad y el rendimiento del biocombustible.

Incorporar análisis elementales que incluyan la determinación del contenido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre (CHNS), con el propósito de evaluar de manera más precisa la calidad del combustible, su eficiencia energética y su impacto ambiental durante la combustión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGICO Group. (2019). *Calorific value of pressed fuel briquettes*. AGICO Biomass Briquette Solutions. <https://www.biofuelmachines.com/Calorific-value-of-pressed-fuel-briquettes.html>
- Alcántara, B., y Jhohannes, E. (2020) *Tesis diseño de una central termoeléctrica utilizando cascarilla de arroz para reducir costos de consumo de energía eléctrica en los molinos de arroz de la provincia de jaén* [Tesis de grado, Universidad señor de Sipan].
- Angulo, O., y Viera J. D. (2019) *Evaluación del efecto de la ceniza de cascarilla de arroz en la resistencia a la compresión de concretos simples* [Tesis de grado, Universidad de Córdoba].
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/2593>
- Arenas, G. (2021). *Aprovechamiento de los residuos de poda de olivo para la mejora de las propiedades del suelo en el fundo San Antonio* [Tesis de grado, Universidad Privada de Tacna].
<http://hdl.handle.net/20.500.12969/1771>
- Arévalo, 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* [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/623483>
- Barba, M. G. (2020). *Propuesta de implementación de una línea de producción*

para la elaboración de briquetas de carbón a partir del bagazo, residuo generado de la caña de azúcar [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador].

Barranco, D., Fernández-Escobar, R., & Rallo, L. (2008). *El cultivo del olivo* (6.^a ed.). Mundi-Prensa.

Bermúdez Arias, V. M., Gutiérrez González, C. J., & Sánchez Chavarría, J. S. (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* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Biblioteca UNI. <https://ribuni.uni.edu.ni/5268/>

Bernal, M. E., y Falla del Castillo, L. H. J. (2020). *Elaboración de briquetas de bagazo de Saccharum Officinarum para mitigar las emisiones en el Centro Poblado el invernillo, Pomalca* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/50269>

Bueche, F. J. (1991). *Fundamentos de física* (6.^a ed.). McGraw-Hill.

Calle, J. L., y Rodríguez, E. Y. (2022). *Eficiencia en el uso del bagazo de café para la elaboración de briquetas y su uso como biocombustible* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/65381>

Castells, P. (2022). El almidón | *investigación y ciencia. investigación y ciencia.*

<https://www.perecastells.com/es/divulgacion/investigacion-y-ciencia/>

Cataño, J., Guzman, K., y Perpiñan, M. (2021). *Efecto de la incorporación de cascarilla de arroz sobre las propiedades mecánicas de concretos y bloques de suelo cemento. una revisión sistemática* [Tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombia].
<https://hdl.handle.net/20.500.12494/32902>

Chicaiza, O. R., y Marcillo, S. C. (2021). *Obtención de briquetas a partir del bagazo de caña de azúcar con la adición de aglutinante para su utilización como biocombustible* [Tesis de grado, Universidad Cooperativa de Guayaquil].

Cunurana, M. B. (2018). *Evaluación de briquetas obtenidas a partir de residuos de poda del olivo y orujo de aceituna como fuente de energía alternativa* [Tesis de grado, Universidad Privada de Tacna].

Demirbaş, A. (2001). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 42(11), 1357–1378. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00137-0](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00137-0)

Díaz, P. (2018). *Mezclas de biomasas y aglutinantes orgánicos para la mejora de las propiedades energéticas en la elaboración de briquetas, Lima 2018* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/17521>

Dragusanu V. Lunguleasa A. y Spirchez C. (2022) Evaluation of the Physical,

Mechanical, and Calorific Properties of Briquettes with or without a Hollow Made of Wheat Straw Waste.

Espiritu, R. K. (2021). *Producción de birquetas vegetales utilizando el aserrín de madera y fibras de semilla de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) para su uso como combustible sólido*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía]

Falcon, R. S., y Velarde Franco, A. (2022). *Efectos del pretratamiento de biomasa sobre poder calorífico y nivel de emisiones de briquetas de residuos del olivar y orégano* [Tesis de grado, Universidad Privada de Tacna]. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2635>

FAO. (2018). *El estado de los bosques del mundo 2018: Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/I9535ES/i9535es.pdf>

Fernández, A. Z. (2020). Densidad: qué es, cómo se mide, tipos y ejemplos. *Toda Materia*. <https://www.todamateria.com/densidad/>

Fonseca C. E. (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. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

García, P. O. (2021). *Diseño de investigación de un proyecto para alimentación de calderas con briquetas de residuos sólidos de una planta de beneficio de arroz en palencia, Guatemala* [Tesis de grado, Universidad de San

Carlos de Guatemala].

Grover, P. D., & Mishra, S. K. (1996). *Biomass briquetting: Technology and practices*. Food and Agriculture Organization (FAO).
<https://www.fao.org/3/t0279e/t0279e.pdf>

Gómez-Soto, J. A., Sánchez-Toro, Ó. J., y Matallana-Pérez, L. G. (2019). Residuos urbanos, agrícolas y pecuarios en el contexto de las biorrefinerías. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(2), 132–144.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n2.80522>

Gonzales, Y. J., y Contreras, C. A. (2022). *Resistencia a compresión de bloques no portantes incorporando cascarilla de arroz* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén].
<http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/496>

González 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>

González, J. & Rosales, M. (2016). Elaboración y caracterización de briquetas a partir de aserrín.

Hernández, M., Torruco, J., Chel, L., y Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718–726.

<https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>

- Herrera, F. X., y Cachimuel, L. F. (2022). *Análisis experimental para el aprovechamiento de las briquetas de teca como fuente de energía*. [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil].
- Herrera, J. (2020). *Desarrollo de briquetas de borra de café y un aglomerante a diferentes composiciones porcentuales para ser utilizadas como como lumieres* [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América].
- Huaman, H., Ramirez , M. M., y Surichaqui, R. J. (2021). *Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas* [Tesis de pregrado, Universidad Continental].
- Huanca Ríos, L. V. (2017). *Evaluación del proceso de producción de briquetas a partir de residuos de dos maderas de la zona de Iquitos, Loreto* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- ICONTEC. (2003). *Briquetas combustibles para uso doméstico (NTC 2060)*. Bogotá, Colombia.
- INEI. (2022). Producción de arroz cáscara alcanzó 330 mil 825 toneladas y creció 32,5% en abril del presente año. *Gobierno del Perú*. <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-de-arroz-cascara-alcanzo-330-mil-825-toneladas-y-crecio-325-en-abril-del-presente-ano-13763/>
- INIA. (2022). *Guía técnica del cultivo de olivo en la región Tacna*.

<https://www.inia.gob.pe>

Isern, X. (2021). La humedad en la biomasa: herramientas de medida y control.

Asociación Española de la Biomasa (Avebiom). <https://www.avebiom.org>

Kaliyan, N., & Morey, R. V. (2009). *Factors affecting strength and durability of densified biomass products*. Biomass and Bioenergy.

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.005>

Lam, P. S., Sokhansanj, S., Bi, X., Lim, C. J., Melin, S., & Womac, A. R. (2019).

An “In-Situ Binding” Approach to Produce Torrefied Biomass Briquettes.

Bioengineering, <https://doi.org/10.3390/bioengineering604>

León, A., y Santacruz, S. (2021). Home. Eficiencia de las briquetas a base de residuos de procesamiento de tuna

León, L. A., y Alfaro, E. (2021). Elaboración de briquetas a partir de subproductos de palma africana (*Elaeis guineensis* J.) y arroz (*Oryza sativa* L.). *Revista Politécnica*, 48(2), 65–70. <https://doi.org/10.33333/rp.vol48n2.06>

López, G. (2020). *Fermentación de poda de olivo con microorganismos inmovilizados para la obtención de bioetanol*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cádiz].

Lu Torres, A. (2021). A punto de acabarse las áreas para producir aceitunas en Tacna: se acelera cambio de variedad. *Gestión*. <https://gestion.pe/economia/a-punto-de-acabarse-las-areas-para-producir-aceitunas-en-tacna-se-acelera-cambio-de-variedad-noticia/>

Macías, J. M. (2017). *Evaluación de briquetas como biocombustible sólido a partir de residuos que generan los procesos agroindustriales en el sector El Empalme*. [Tesis de grado, Universidad técnica estatal de Quevedo].

Maguiña y Rosas, G. L. (2018). *Evaluación del potencial de expansión y capacidad portante en el suelo limo arcilloso incorporando ceniza de cascarilla de arroz en la Av.Aija, Huarmey, Ancash - 2018*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo].

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/34633>

Martínez, J. C. (2018). *Fraccionamiento y conversión biológica de la poda de olivo*. [Tesis doctoral, Universidad de Jaén].
<http://hdl.handle.net/10953/950>

MIDAGRI. (2020). *Arroz. Memoria del Sector Agrario y de Riego*.
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/memoria-sector-agrario-riego-2020>

Montenegro, Y. (2022). *Evaluación del poder calorífico de briquetas de biochar obtenido a partir de residuos orgánicos* [Tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas].
<https://hdl.handle.net/20.500.14077/2963>

Morales, M. (2019). *Evaluación del poder calorífico de briquetas de biochar obtenido a partir de residuos orgánicos* *universidad michoacana de*

san nicolás de hidalgo.

- Moya, M., Cara, C., Ruiz, E., y Castro, E. (2018). La poda del olivar como fuente de energía renovable: obtención de biocombustible. *Grasas y Aceites*, 69(2), e256. <https://doi.org/10.3989/gya.0221181>
- Muñoz, F. G., y Cáceres-, D. D. (2020). Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por MP_{2,5} y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile. *Revista Médica de Chile*, 148(9), 1280–1288. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872020000901280>
- Niño, A. F. (2020). *Caracterización de propiedades físicas y mecánicas de briquetas de biomasa de aserrín de pino y cascarilla de arroz* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77321>
- Nogueira, R., Lima, R., Barbosa, R., Queiroz, J., Osajima, J. A., y Alexsandra de Sousa Rios, M. (2019). Investigação do potencial do talo e da palha da carna ba para utiliza o como biocombust vel. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(2), 154–160. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n2p154-160>
- Ortega, A. T., y Quispe, M. I. (2021). Alternativas del uso de la cascarilla de arroz como fuente energética. *El Reventón Energético*. <https://elreventonenergetico.com/cascarilla-de-arroz-como-fuente->

energetica/

- Olivares, M. M. (2018). *Hidrólisis y fermentación de materiales lignocelulósicos con Hansenula polymorpha arroz* [Tesis doctoral, Universidad de Córdoba]
- Palacios, T. A., y Barba, M. G. (2020). Propuesta de implementación de una línea de producción para la elaboración de briquetas de carbón a partir del bagazo, residuo generado de la caña de azúcar.
- Paredes C, M., Becerra V, V., Donoso Ñ, G., y Loaiza, K. (2021). Calidad del grano de arroz. *En Manual del cultivo de arroz (Cap. 9). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).*
<https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6809>
- Park, B. D., Wi, S. G., Lee, K. H., Singh, A. P., Yoon, T. H., & Kim, Y. S. (2003). *Characterization of anatomical features and silica distribution in rice husk using microscopic and micro-analytical techniques*. Biomass and Bioenergy, 25(3), [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00014-X](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00014-X)
- Perez T. M. (2017). Fabricación de briquetas a partir de la cáscara de cacao y colofonia como aglutinante para ser utilizadas como biocombustible [Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]
- Puentes, J. G. (2023). *Aprovechamiento de la poda de olivar para su bioconversión a etanol y xilitol* [Tesis doctoral, Universidad de Jaén].
<https://hdl.handle.net/10953/1238>

- Prada, A., & Cortés, C. E. (2010). *La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: Una alternativa de aprovechamiento integral*. Orinoquia, <https://doi.org/10.22579/20112629.103>
- Quiceno, D., y Mosquera, M. Y. (2010). Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible. *Scientia et Technica*, 16(44), 129–134. <https://doi.org/10.22517/23447214.2471>.
- Rayano , L. (2022). *Obtención de biocombustibles sólidos de calidad, a partir de la biomasa procedente de residuos agrícolas y cultivo herbáceo* [Tesis doctoral, Universidad de Córdoba].
- Rivera González, W. J., Alvarado, C. A., & Ochoa Cervantez, D. O. (2023). *Características energéticas de briquetas artesanales elaboradas a base de biomasa de gallinaza con cinco diferentes tipos de adherentes*. Tatascán, 31(1), 18–29. <https://doi.org/10.5377/tatascan.v31i1.15941>
- Rojas, C. A. (2018). *Generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz para reducir costos energéticos en la Piladora la Merced S.R.L* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín]. <https://hdl.handle.net/11458/3184>
- Rojas, N. (2020). Los beneficios de la cascarilla de arroz para el cultivo del arándano. *Agroptima*. <https://agroptima.com/es/blog/cascarilla-de-arroz/>
- Romanelli, G. P., Ruiz, D. M., y Pasquale, G. A. (2020). *Química de la biomasa y los biocombustibles*. Editorial de la Universidad

Nacional de La Plata.

- Rotich, P. K. (1998). *Carbonization and briquetting of sawdust for use in domestic cookers* [Master's thesis, University of Nairobi]. University of Nairobi Repository. <https://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/21571>
- Samamé, W. E. (2017). *Determinación del poder calorífico de briquetas de carbón utilizando cantidades de residuos de biomasa*. [Tesis de grado, Universidad de Trujillo].
- Santander. (2022). ¿Qué es la biomasa y qué tipos existen? ¿qué es la biomasa? *Santander*. <https://www.santander.com/es/stories/que-es-la-biomasa>
- Silva, D. A. L., Delai, I., Montes, M. L. D., Ometto, A. R., & Bilec, M. M. (2022). *A systematic review and life cycle assessment of biomass pellets and briquettes production in Latin America*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157, 112040. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112040>
- Smith, A. K. d. G., Alesi, L., Varanda, L. D., da Silva, D. A., Santos, L. R. O., y Yamaji, F. M. (2019). Production and evaluation of briquettes from urban pruning residue and sugarcane bagasse. *Renewable Energy*, 135, 1015–1023. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.12.093>
- Solarte, J., Díaz, A., Osorio, O., y Mejía, D. (2019). Propiedades reológicas y funcionales del almidón procedente de tres variedades de papa criolla.

Información Tecnológica, 30(1), 33–42. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000100033>

Solis, B. (2019). *Efectos aglutinantes briquetas [Presentación]*.
<https://www.slideshare.net/>

Tirado J. P. (2015). Estudio de comparación de la cáscara de nuez para mejorar la calidad de briquetas de biomasa. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato]

Torres, M. E., Madrigal, S. M., y Valladares, G. F. (2019). *Evaluación de briquetas elaboradas con cascarilla de arroz para el uso como combustible en hornos rosquilleros en la comunidad de isiquí del municipio de Estelí* [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]

Tuesta Torrejón, T. (2016). *Diseño y eficiencia energética de briquetas elaboradas a partir de residuos sólidos orgánicos, aserrín y cascarilla de arroz* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali].
<https://hdl.handle.net/20.500.14621/4157>

Valiente, A. (2017). *Elaboración de briquetas para aprovechamiento del residuo de arroz en beneficios del municipio de El Progreso, Jutiapa* [Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar].
<http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjr/2017/02/02/Valiente-Astrid.pdf>

Vargas, J., Alvarado, P., Vega-Baudrit, J., y Porras, M. (2013).

Caracterización del subproducto cascarilla de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 14(6), 290–300.

Velasco, R., Luna, W., y Villada, M. y. H. (2008). Producción de dextrinas a partir de almidón nativo de yuca por ruta seca en una agroindustria rural. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(2), 4575–4586.

Villarroel, J., Marcias, J., y Espinoza, B. (2020). Biocombustible sólido a partir de residuos que generan los procesos agroindustriales del sector el empalme.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Título: Elaboración de briquetas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz como biocombustible en la ciudad de Tacna

Formulación del problema	Hipótesis específica	Objetivos específicos	Variables	Dimensión	Indicadores
¿Son eficientes las briquetas elaboradas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz como biocombustible en Tacna?	La evaluación de las briquetas ecológicas a base de residuos de poda de olivo (<i>Olea europea</i> L.) y cáscara de arroz (<i>Oryza sativa</i>) en la ciudad de Tacna, entonces se determina que son una fuente de biocombustible.	Los residuos de la poda del olivo y cáscara de arroz permiten elaborar briquetas y determinar su potencial como biocombustible en la ciudad de Tacna.	Independiente X ₁ : Tipo de residuo	-Cáscara de arroz -Poda de olivo	Porcentaje (%)
•¿Cuál son las características fisicoquímicas de las briquetas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz?	•La elaboración de las briquetas a base de residuos de la poda del olivo y cáscara de arroz permite evaluar sus propiedades fisicoquímicas.	•Evaluar las características fisicoquímicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de la poda de olivo y cáscara de arroz.	Dependiente Y ₁ : Briquetas ecológicas	-Propiedades fisicoquímicas -Propiedades térmicas	•Porcentaje de humedad (%) •Porcentaje de cenizas (%) •Densidad (Kg/m ³)
•¿Cuál son las características térmicas de las briquetas a base de residuos de poda de olivo y cáscara de arroz?	•La elaboración de las briquetas a base de residuos de la poda del olivo y cáscara de arroz permite evaluar sus propiedades térmicas.	•Evaluar las características térmicas de las briquetas elaboradas a base de residuos de la poda de olivo y cáscara de arroz.			•Tiempo de encendido(min) •Poder calorífico (Kcal/kg) •Tiempo de ebullición(min)

Anexo 2

Norma técnica colombiana 2060

**NORMA TÉCNICA
COLOMBIANA**

**NTC
2060**

1987-11-04

BRIQUETAS COMBUSTIBLES PARA USO DOMÉSTICO



E: FUEL BRIQUETES FOR HOUSEHOLDS USE

CORRESPONDENCIA:

DESCRIPTORES: carbón; briqueta; combustible sólido.

I.C.S.: 75.160.10

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)
Numeral 14237 Bogotá, D.C. - Tel. 6078888 - Fax 2221435

Prohibida su reproducción

Primera actualización
Editada 2003-12-11

PRÓLOGO

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, **ICONTEC**, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

ICONTEC es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

La NTC 2060 (Primera actualización) fue ratificada por el Consejo Directivo de 1987-11-04.

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

A continuación se relacionan las empresas que colaboraron en el estudio de esta norma a través de su participación en el Comité Técnico C35.1 Carbón.

ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A.
ANÁLISIS INDUSTRIALES
CARBOCOL
CEMENTOS SAMPER
ECOPETROL

E.E.E.B.
INGEOMINAS
PRODECO
S.G.S. COLOMBIA S.A.
TECSOL LTDA.

ICONTEC cuenta con un Centro de Información que pone a disposición de los interesados normas internacionales, regionales y nacionales.

DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

**BRIQUETAS COMBUSTIBLES
PARA USO DOMÉSTICO**

1. OBJETO

Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben someterse las briquetas combustibles para uso doméstico.

2. DEFINICIONES Y CLASIFICACIÓN

2.1 DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se establecen las siguientes:

2.1.1 Briqueta: mezcla sólida combustible de sustancias aglomeradas de forma y tamaño adecuado para uso doméstico.

2.1.2 Remesa: cantidad de producto objeto de un envío comercial.

2.1.3 Lote: cantidad definida de la remesa que se presume tiene las mismas características, sobre la cual se va a juzgar su calidad.

2.1.4 Unidad de muestreo: número de unidades de distintos lugares de un lote.

2.1.5 Muestra global: cantidad total de muestra formada por la mezcla de las unidades de muestreo.

2.1.6 Muestra reducida: cantidad de producto obtenido por reducción de la muestra global y que es representativa del lote.

2.1.7 Muestra para análisis: cantidad representativa de la muestra global, o reducida, que se destina para análisis.

2.2 CLASIFICACIÓN

2.2.1 Tipo 1. Briquetas provenientes de carbón mineral.

2.2.2 Tipo 2. Briquetas provenientes de otro tipo de combustible.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2060 (Primera actualización)

3. CONDICIONES GENERALES

3.1 Las briquetas deben poseer un tamaño mayor o igual a 3 cm en su dimensión mínima, deben ser de fácil encendido y presentar una combustión limpia, además no deben deteriorarse durante su transporte y manejo ni en condiciones normales de almacenamiento.

3.2 El tamaño, el poder calorífico y las características físicas y mecánicas de las briquetas deben ser uniformes.

3.3 El aglutinante de las briquetas debe ser un producto que posea características aglomerantes, siempre que no sea tóxico ni produzca gases tóxicos o irritantes durante su combustión en cantidad superior a la permisible (véase el numeral 8.2).

3.4 El iniciador se debe fabricar con un material de encendido instantáneo que no sea tóxico ni emita gases tóxicos o irritantes durante su combustión en cantidad superior a la permisible, que no ahume las briquetas y debe cumplir con los requisitos indicados en la respectiva norma de producto (véase el numeral 9.1.2).

4. REQUISITOS

4.1 Las briquetas cumplirán los requisitos indicados en la Tabla 1.

Tabla 1. Requisitos de las briquetas

Propiedad	Tipo 1	Tipo 2
Poder calorífico, en KJ/kg, mínimo	21 000 (véase la Nota 1)	12 500 (véase la Nota 1)
Cenizas, en % m/m, máximo	30	30
Carbono fijo, % en masa, mínimo	50	-
Material volátil, en % máximo, m/m	15	15
Humedad, en % máximo (véase la Nota 2)	2,5	2,5
Contenido de azufre, en %, m/m, máximo.	1,0	1,0

Notas:

- 1) Aproximadamente 5 000 kilocalorías/kg y 3 000 kilocalorías/kg
- 2) Este requisito se controla en la etapa final de distribución

4.2 Además de los anteriores, cumplirán los siguientes requisitos:

4.2.1 Resistencia al aplastamiento. Cuando las briquetas se sometan al ensayo indicado, en el numeral, 6.7, el promedio ponderado de la carga de aplastamiento (R_m) corresponderá de acuerdo con la masa de la briqueta, a los valores indicados en la Tabla 2.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2060 (Primera actualización)

Tabla 2. Requisitos de resistencia al aplastamiento

Masa de cada briqueta en g/briqueta	Rm, mínimo en N (kgf)
60 ó más	784,31 (80)
40	588,23 (60)
30	490,19 (50)
20	392,15 (40)

4.2.2 Medida de la resistencia a la abrasión y al impacto. Cuando las briquetas se ensayen de acuerdo con lo indicado en el numeral 6.8, menos del 35 % de la masa de las briquetas podrá pasar por la malla de barras.

4.2.3 Emisión de humo y hollín. Cuando la briqueta se ensaye de acuerdo con lo indicado en el numeral 6.9, no aparecerá ningún hilo de humo negruzco antes de transcurrir 90 s.

4.2.4 Facilidad de encendido. Cuando las briquetas se ensayen de acuerdo con lo indicado en el numeral 6.10, permanecerán encendidas después de 10 min de haber retirado los iniciadores y continuarán su combustión durante un período mínimo de 90 min.

5. TOMA DE MUESTRAS Y RECEPCIÓN DEL PRODUCTO

5.1 TOMA DE MUESTRAS

5.1.1 El muestreo se efectuará de tal manera que las unidades de muestreo sean representativas de las características de todo el lote. Una vez efectuado el muestreo, los excedentes de la muestra se devolverán al propietario del lote en remesa.

5.1.2 Preparación del lote para muestreo. El lote se preparará de tal forma que las muestras puedan tomarse sin obstáculos ni demora. El muestreador será debidamente autorizado y si es necesario, tomará las muestras en presencia de las partes interesadas.

5.1.3 Extracción de las unidades de muestreo. Las unidades de muestreo se tomarán de diferentes sitios y niveles de cada lote y al azar de acuerdo con lo indicado en la Tabla 3.

Tabla 3. Determinación del tamaño de la muestra para briquetas empacadas

Número de empaques comerciales similares que constituyen el lote		Número de empaques o muestras (cada una constituye una unidad de muestreo) que deben tomarse
1	a 10	1
11	a 50	3
51	a 100	5
101	a 300	7
301	a 500	9
501	a 1 000	10
más	de 1 000	15 (mínimo)

5.1.4 La muestra global se obtiene reuniendo o mezclando las unidades de muestreo; la muestra reducida se obtiene a partir de la muestra global, por cuarteo.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2060 (Primera actualización)

5.1.5 El tamaño de la muestra para ensayo será de 15 kg.

5.1.6 Las muestras para ensayo se empacarán y sellarán debidamente.

5.1.7 Las muestras se marcarán en forma legible e indeleble de la siguiente forma: designación del producto, lugar del muestreo, fecha y hora del muestreo, tamaño del lote y de la muestra para análisis, marca de identificación para el lote y para la muestra.

5.2 ACEPTACIÓN O RECHAZO

Si la muestra ensayada no cumple con uno de los requisitos indicados en esta norma, se rechazará el lote. En caso de discrepancia en los resultados, se repetirán los ensayos sobre la muestra reservada para tales efectos, cualquier resultado no satisfactorio en este segundo caso será motivo para rechazar el lote.

6. ENSAYOS

6.1 DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO

Se efectúa de acuerdo con la NTC 2128.

6.2 DETERMINACIÓN DE CENIZAS

Se efectúa de acuerdo con lo indicado en la NTC 1859.

6.3 DETERMINACIÓN DEL CARBONO FIJO

El carbono se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de carbono fijo} = 100 - (A + B + C)$$

Donde:

A = contenido de humedad, en % (véase el numeral 6.5).

B = contenido de cenizas, en % (véase el numeral 6.2).

C = contenido de materia volátil, en %, (véase el numeral 6.4)

6.4 DETERMINACIÓN DE LA MATERIA VOLÁTIL

Se efectúa de acuerdo con lo indicado en la NTC 2018.

6.5 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

Se efectúa de acuerdo con lo indicado en la NTC 1872.

6.6 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AZUFRE

Véase el numeral 9.1.1.

6.7 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO

La briqueta fría se coloca entre dos superficies planas de acero de 10 cm x 10 cm y se le aplica la carga de compresión a una velocidad de 5 kilos por segundo y se lee para cada briqueta la fuerza de compresión en el momento de aplastamiento. Para cada ensayo se deben emplear de 50 a 100 briquetas de la misma masa y se calcula el promedio ponderado de la carga de aplastamiento (R_n), el valor obtenido debe corresponder con lo indicado en la Tabla 2. El 90 % de las briquetas deben tener una resistencia individual mayor de 0,75 R_m .

6.8 DETERMINACIÓN DE LA MEDIDA DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN Y AL IMPACTO

6.8.1 Se carga el tambor (véase la Figura 1) con 5 kg de briquetas enteras y se hace girar durante dos minutos a 25 r/min, luego se recoge todo el material que se encuentra dentro del tambor y se pasa por una malla de barras de 10 mm de diámetro espaciadas a 15 mm. El ensayo se efectúa por duplicado.

6.8.2 En caso de briquetas de más de 90 mm en su dimensión mayor, se emplea un tambor similar, pero con 1 m de largo, y se cargan 50 kg de briquetas, todas las demás condiciones del ensayo son iguales.

Nota. La norma ASTM D440 contempla un método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión y al impacto, sin embargo, no se incluye en esta norma como método alternativo hasta tanto no se establezca el valor del requisito correspondiente.

6.9 EMISIÓN DE HUMOS Y HOLLÍN

Se coloca una briqueta en un horno de mufla previamente calentado a 950 °C se deja la puerta del horno abierta y se observa la briqueta. Se repite el ensayo con 20 briquetas y se pasa con el 90 % de resultados aceptables.

6.10 FACILIDAD DE ENCENDIDO

6.10.1 Aparatos

- a) Estufa estándar u otra equivalente (véase la Figura 2), cargada con las briquetas bajo ensayo.
- b) Iniciadores que cumplan con lo especificado en el numeral 3.4.

6.10.2 Procedimiento

- a) Se precalienta la estufa a 20 °C mediante la combustión de dos iniciadores durante cinco minutos.
- b) Se emplean tres iniciadores en cada hogar, se encienden y se colocan dentro del compartimiento para cenizas, uno junto al otro (formando un triángulo), cuidando que la llama esté ubicada en el centro de la rejilla del hogar y se cierra la compuerta de la estufa.
- c) Se dejan transcurrir 20 min a 25 min y se retiran los iniciadores.

- d) Se observa si las briquetas permanecen encendidas después de 10 min de haber retirado los iniciadores.
- e) Se contabiliza el tiempo de combustión total de las briquetas bajo ensayo.

7. EMPAQUE Y ROTULADO

7.1 EMPAQUE

Las briquetas se empacarán en bolsas de material adecuado que permitan conservar la calidad del producto, así como su manejo hasta su destino final.

7.2 ROTULADO

En el rótulo deberán aparecer como mínimo las siguientes indicaciones:

7.2.1 Nombre del producto.

7.2.2 Nombre y marca del fabricante o distribuidor.

7.2.3 Masa neta en unidades del Sistema Internacional.

7.2.4 Poder calorífico en Kcal/kg (KJ/kg).

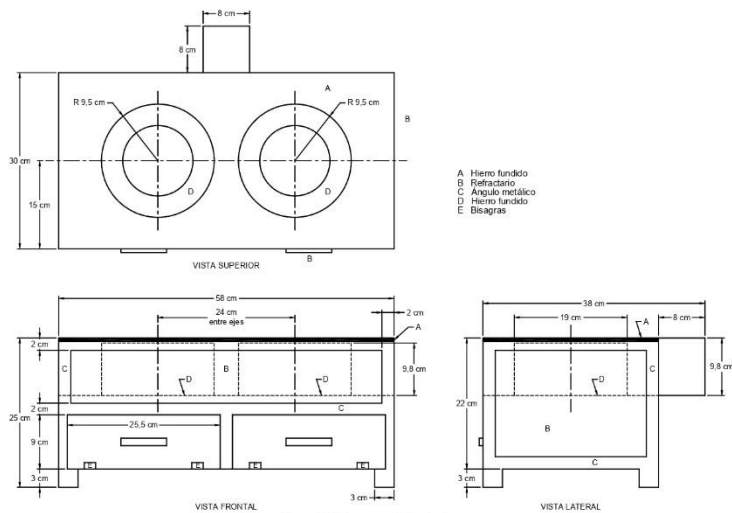
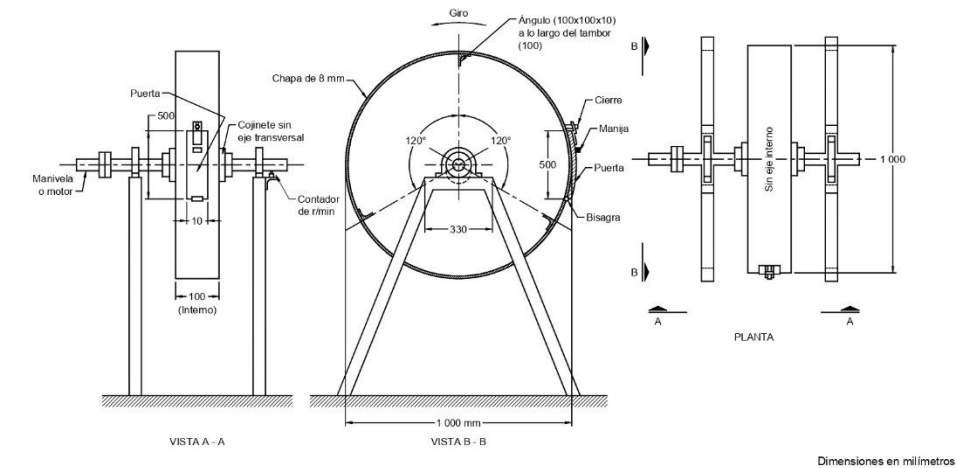
7.2.5 La siguiente leyenda en letra clara y legible: "Estas briquetas solo se pueden emplear en cocinas o fogones provistos de chimenea al exterior y en lugares convenientemente ventilados. La chimenea debe someterse a limpieza periódica para evitar taponamiento".

7.2.6 La frase "Industria Colombiana".

8. PRECAUCIONES

8.1 En la fabricación de las briquetas no se deben emplear sustancias aglutinantes u otros aditivos que sean tóxicos o que por combustión produzcan gases tóxicos o irritantes en cantidad superior a la permisible.

8.2 Los valores límites de los gases tóxicos o irritantes serán los establecidos en las prescripciones legales vigentes.



9. APÉNDICE**9.1 INDICACIONES COMPLEMENTARIAS**

9.1.1 Hasta tanto no se adopte la NTC para la determinación indicada en el numeral 6.6, se recomienda seguir el procedimiento indicado en la norma ASTM D 3177.

9.1.2 Mientras no se adopte la NTC para los iniciadores, estos deberán cumplir con las características indicadas en la Tabla 4.

Tabla 4. Características de los iniciadores

Característica	Valor
Altura de llama, mín, en cm	2,5
Poder calorífico, mín, en KJ/kg (Cal/g).	27209(6 500)
Tiempo de combustión, mín. en minutos*	25

* Véase el numeral 8.2

9.2 NORMAS QUE DEBEN CONSULTARSE

NTC 1859, Minerales. Determinación de cenizas.

NTC 1872, Carbón. Determinación de la humedad total.

NTC 2018, Carbón. Determinación de la materia volátil.

NTC 2128, Carbón. Determinación del poder calorífico. Método de la bomba calorimétrica y cálculo del poder calorífico neto.

9.3 DOCUMENTO DE REFERENCIA

Literatura técnica suministrada por los miembros del Comité.

Anexo 3

Panel fotográfico del trabajo experimental

Foto 1

Recolección de la materia prima



Nota: a) Recolección de Poda de olivo, b) Recolección de cáscara de arroz.

Foto 2

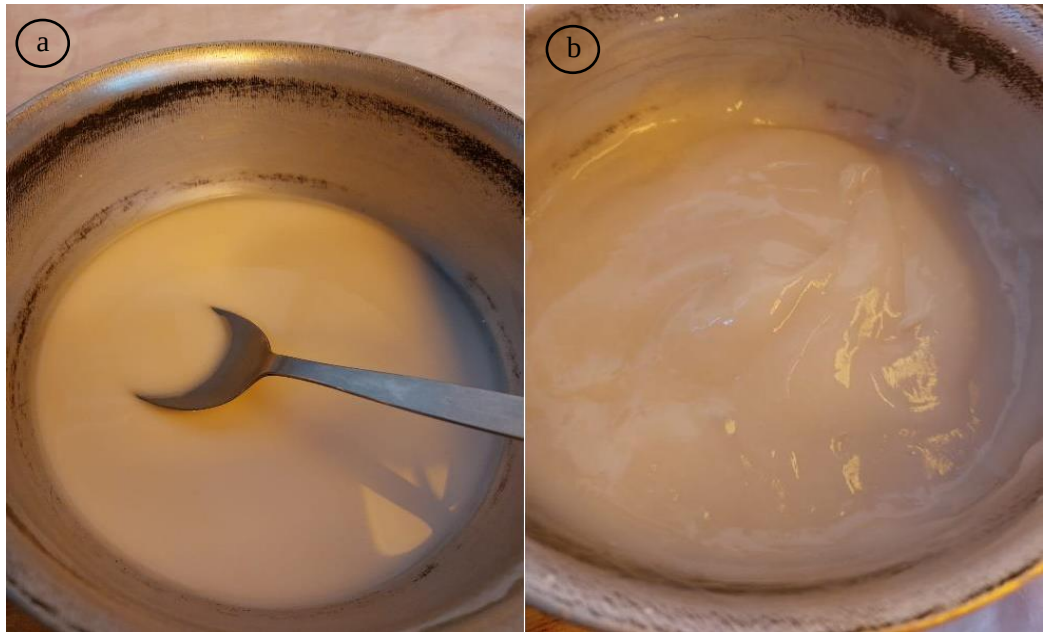
Molido de la materia prima



Nota: a) Molino tipo martillo, b) Molienda de residuos agroindustriales.

Foto 3

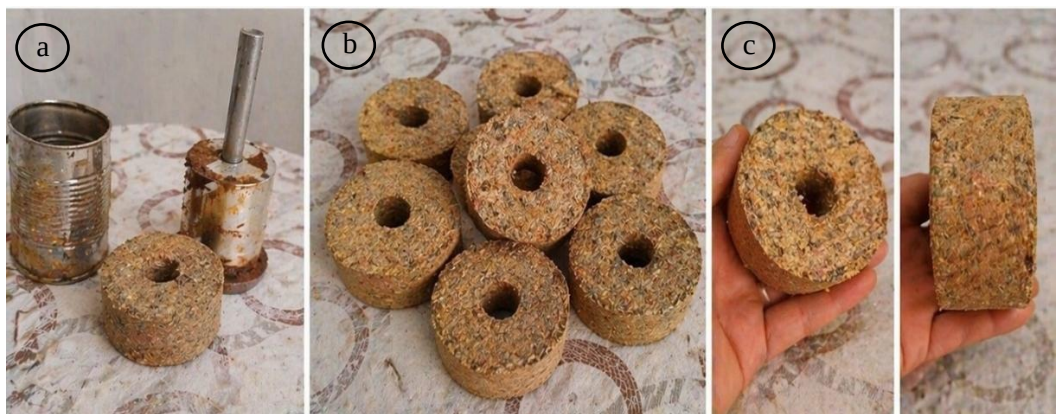
Preparación de aglutinante de yuca



Nota: a) Dilución de aglutinante de yuca, b) Cocción del aglutinante.

Foto 4

Molde y forma de briqueta



Nota: a) Molde de briqueta, b) Briquetas obtenidas, c) Briqueta cilíndrica.

Foto 5
Elaboración de briquetas



Nota: a) Presentación de residuos, b) Pesado de residuos, c) Mezclado de residuos, d) Compactado de mezcla, e) Briquetas elaboradas, f) Secado de briquetas.

Foto 6

Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de las briquetas



Nota: a) Prueba de cantidad de cenizas, b) Prueba de cantidad de humedad.

Foto 7

Evaluación de las propiedades térmicas de las briquetas



Nota: a) Prueba de tiempo de encendido, b) Prueba de tiempo de ebullición, c) Prueba de poder calorífico.