

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AGROINDUSTRIAL**



**TESIS:**  
**INFORME DE TESIS**

Evaluación de briquetas obtenidas a partir de residuos de  
Poda del olivo y Orujo de aceituna como fuente de energía  
alternativa

**PARA OPTAR:**  
**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO**  
**AGROINDUSTRIAL**

**PRESENTADO POR:**  
Bach. Maddy Bertha Cunurana Cruz

**TACNA – PERÚ**  
**2018**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AGROINDUSTRIAL**

**Tesis**

**Evaluación de briquetas obtenidas a partir de residuos de**  
**Poda del olivo y Orujo de aceituna como fuente de energía**  
**alternativa**

Tesis sustentada y aprobada el 6 de julio del 2018; estando el jurado  
calificador integrado por:

**PRESIDENTE: ING. JORGE KARIM CÁCERES SÁNCHEZ**

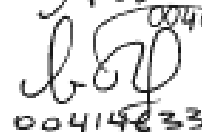
**SECRETARIO: ING. ANABEL DEL ROSARIO CRISOSTO FUSTER**

**VOCAL: ING. MARCO TULIO ALEJANDRO RIVAROLA AMES**

**ASESOR: ING. RAÚL CARTAGENA CUTIPA**



00490824



00414833



01326695


## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Maddy Bertha Cunurana Cruz en calidad de: Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI 71321469. Declaro bajo juramento que:

1. Soy autora de la tesis titulada: **Evaluación de briquetas obtenidas a partir de residuos de poda del olivo y orujo de aceituna como fuente de energía alternativa** la misma que presentó para optar el título de Ingeniero Agroindustrial.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a la universidad y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 28 de mayo 2018

  
Maddy Bertha Cunurana Cruz  
DNI: 71321469

## **PÁGINA DE DEDICATORIA**

Ésta tesis va dedicada a mi querida familia; su cariño y apoyo fueron importantes pilares del esfuerzo, perseverancia y coraje para cumplir con todos mis objetivos trazados.

Así también de manera especial a mis hermanos, quienes son mi mayor motivación para llegar a ser un ejemplo para ellos.

## **PÁGINA DE AGRADECIMIENTO**

El agradecimiento a la Universidad Privada de Tacna, por la facilidad de sus laboratorios para el desarrollo del trabajo; a mis queridos profesores por su apoyo incondicional, su tiempo brindado, los conocimientos que transmitieron durante mi formación profesional y por su motivación para la culminación de ésta tesis .

## ÍNDICE GENERAL

	DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
	PÁGINA DE DEDICATORIA.....	iv
	PÁGINA DE AGRADECIMIENTO.....	v
	ÍNDICE GENERAL.....	vi
	ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	vii
	RESUMEN.....	i
	ABSTRACT.....	ix
	 INTRODUCCIÓN.....	 1
	 CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1.	Descripción del problema. ....	3
1.2.	Formulación del problema. ....	4
1.3.	Justificación e importancia. ....	4
1.4.	Objetivos. ....	5
1.4.1.	Objetivo general. ....	5
1.4.2.	Objetivos específicos. ....	5
1.5.	Hipótesis. ....	5
	 CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	
2.1.	Antecedentes del estudio. ....	6
2.2.	Bases teóricas. ....	7
2.2.1.	Biomasa. ....	7
2.2.2.	Biomasa del olivo. ....	8
2.2.3.	Briquetas. ....	9
2.2.4.	Uso de las Briquetas. ....	10
2.2.5.	Clasificación de briquetas. ....	10
2.2.6.	Condiciones Generales de las briquetas. ....	12
2.2.7.	Aglutinante. ....	13
2.2.8.	Proceso para la elaboración de briquetas. ....	14
2.2.9.	Propiedades Físicas y Energéticas. ....	16

2.3.	Definición de términos. ....	18
2.3.1.	Energía Alternativa. ....	18
2.3.2.	Briquetas. ....	19
2.3.3.	Aglutinante. ....	19
2.3.4.	Combustión. ....	19
2.3.5.	Friabilidad. ....	19
2.3.6.	Densificación. ....	19

### CAPÍTULO III

#### MARCO METODOLÓGICO

3.1.	Tipo y diseño de investigación. ....	20
3.2.	Muestras de estudio. ....	21
3.3.	Operacionalización de variables. ....	21
3.3.1.	Variables Independientes. ....	21
3.3.2.	Variables dependientes. ....	21
3.4.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos. ....	21
3.4.1.	Elaboración de briquetas. ....	23
3.4.2.	Materiales y Equipos. ....	23
3.4.3.	Determinación del poder calorífico, índice de friabilidad, y la eficiencia del combustible. ....	24

### CAPÍTULO IV

#### RESULTADOS

4.1.	Determinación de las proporciones de materia prima. ....	29
4.2	Resultados de factores evaluados.....	30
4.2.1.	Poder Calorífico. ....	31
4.2.2.	Índice Friabilidad. ....	32
4.2.3.	Eficiencia del Combustible.....	32

### CAPÍTULO V

	DISCUSIÓN.....	40
	CONCLUSIONES.....	42
	RECOMENDACIONES.....	43
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1. Fuentes de energía según tipos de biomasa.....	8
Figura 2. Modelos de briquetas. ....	10
Figura 3. Diseño de experimentación .....	20
Figura 4. Etapas para la elaboración de briquetas .....	22
Tabla 1.Tratamientos según los porcentajes de composición .....	29
Tabla 2. Resumen de los valores hallados del poder calorífico, friabilidad y eficiencia del combustible de las briquetas .....	30
Figura 5. Contornos de la superficie respuesta del poder calorífico.....	31
Tabla 3. Análisis de varianza para el poder calorífico .....	32
Figura 6. Contornos de la superficie respuesta del índice de friabilidad.....	33
Tabla 4. Análisis de varianza para el Índice de Friabilidad.....	33
Figura 7. Contornos de la superficie respuesta del Tiempo de ebullición.....	34
Tabla 5. Análisis de varianza para el Tiempo de ebullición.....	35
Figura 8. Contornos de la superficie respuesta del consumo específico.....	36
Tabla 6. Análisis de varianza para el consumo específico .....	37
Figura 9.Contornos de la superficie respuesta de la velocidad de combustión ...	37
Tabla 7. Análisis de varianza para la velocidad de combustión.....	38
Tabla 8. Proporción adecuada de componentes que maximizan el poder calorífico .....	39
Tabla 9. Proporción adecuada de componentes que maximizan el poder calorífico .....	39



## RESUMEN

Con la finalidad de aprovechar los residuos de la industria olivarera, se elaboró y evaluó briquetas a partir de residuos de poda del olivo y orujo de aceituna recolectados de campos de cultivo y empresas aceiteras del distrito La Yarada -Los Palos; utilizando el almidón como aglutinante. Después de realizar la molienda de la biomasa, se mezclaron los componentes y adicionó el aglutinante, posteriormente se moldeó usando una briqueteadora obteniéndose muestras con dimensiones de 5 cm de altura y 10 cm de diámetro. El diseño experimental fue un diseño de mezclas con tres variables de experimentación y dos niveles cada uno; orujo de aceituna (0,1 – 0,23), poda del olivo (0,6 – 0,82) y aglutinante (0,08 – 0,15) y cinco factores respuesta; friabilidad(1), poder calorífico(2), tiempo de ebullición (3), velocidad de combustión (4), consumo específico del combustible (5) resultando en siete experimentos. Los resultados indican que solo las variables; índice de friabilidad y el poder calorífico resultan significativas ( $p < 0.005$ ), así mismo la mezcla que maximiza el poder calorífico está compuesta por 10 % de orujo de aceituna, 82 % de poda de olivo y 8 % de aglutinante dando un resultado de 5 709,46 Kcal/kg, por lo tanto las briquetas obtenidas a partir de esta biomasa presentan un futuro prometedor por el poder calorífico alto, siendo una fuente de energía alternativa

**PALABRAS CLAVES:** Biomasa; briquetas; poder calorífico.

## ABSTRACT

In order to take advantage of waste from the olive industry, briquettes were elaborated and evaluated from waste olive pruning and olive pomace collected from crop fields and oil companies in the La Yarada district -Los Palos; using starch as a binder. After grinding the biomass, the components and added the binder, later it was molded using a briqueteadora obtaining samples with dimensions of 5 cm in height and 10cm in diameter. The experimental design was a mix design with three experimental variables at two levels each; olive pomace (0.1 - 0.23), olive pruning (0.6 - 0.82) and binder (0.08 - 0.15) and five response factors; friability (1), calorific value (2), combustion time (3), combustion speed (4), specific fuel consumption (5) resulting in 7 experiments. The results indicate that only the variables; friability index and calorific value were significant ( $p < 0.005$ ), likewise the mixture that maximizes the calorific value is composed of 10 % olive residue, 82 % olive pruning and 8 % binder giving a result of 5 709.46 kcal / kg, therefore the briquettes obtained from this biomass present a promising future because of the high calorific value, being an alternative source of energy.

**KEYWORDS:** Biomass; briquettes; calorific power.

## INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento energético de la biomasa, es una fuente de energía renovable basada en materia orgánica de origen vegetal o animal y de sus diferentes procesos asociados, está ligada a aspectos tan importantes como la búsqueda de alternativas a la dependencia energética en los combustibles fósiles, al cumplimiento de los objetivos establecidos por el protocolo de Kioto, al mantenimiento de población y empleo en el ámbito rural (Instituto para la diversificación y ahorro de Energía, 2006)

Entre los tipos de biomasa, se encuentra los residuos de la industria olivarera que pueden ser aprovechados en la fabricación de briquetas utilizados como biocombustible sólido para cocinas no convencionales. Por lo tanto se evalúa factores como índice de friabilidad, poder calorífico, y la eficiencia del combustible obteniendo briquetas con un buen funcionamiento.

El trabajo está estructurado de la siguiente forma en el primer capítulo se tiene la formulación del problema, Indecopi señala a Tacna como la primera región productora de aceituna como consiguiente principal generador de residuos agroindustriales provenientes de su industria. En éste capítulo se argumenta por qué elaborar briquetas a partir de éstos residuos, se presentan los objetivos y la hipótesis de la investigación.

En el segundo capítulo se describe el marco teórico, una primera parte se presenta los antecedentes respecto a trabajos como Al-kassir (2013) y Miranda, Montero, Román, Rojas y Nogales (2011) ; quienes estudian el comportamiento del orujo de aceituna resaltando su alto poder calorífico sin embargo muestran problemas de gran cantidad de emisiones recomendando como máximo el 50 % de éste producto. También en el capítulo dos se introducen bases teóricas que se requieren para comprender el sentido de esta investigación, se presenta una breve conceptualización de biomasa, biomasa del olivar, se habla de briquetas, tipos de briquetas, condiciones generales según normativa, proceso de elaboración y propiedades de las briquetas para que finalmente se concluya mediante la definición de términos.

El tercer capítulo se describe el marco metodológico para el desarrollo de la investigación, destacando el diseño experimental, se detallan los materiales, equipos utilizados. Las etapas para la elaboración de briquetas también forman parte de éste capítulo donde se detalla el proceso desde la obtención de materia prima hasta el almacenamiento y se culmina con los diferentes análisis para su evaluación.

En el cuarto capítulo se da a conocer los resultados obtenidos según los objetivos planteados, se muestra las pruebas de significancia estadística (ANOVAS), los gráficos de superficie de respuesta de las variables con respecto a los componentes, finalizando con la ecuación modelo lineal ajustado por cada variable de respuesta.

En el quinto capítulo se discute la investigación principalmente se resalta los altos valores obtenidos de poder calorífico superiores a los que establece la NTC 2060.

Finalmente en los últimos apartados las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Descripción del problema.

En el Perú, Tacna es la primera región productora de aceituna que supera las 61000 Tn, cantidades significativas que convierten al país en el primer país productor de aceituna y aceite de oliva de América (INDECOPI, 2015). Así mismo según las últimas cifras publicadas por el Consejo Oleícola Internacional en la campaña 2013 y 2014 la producción nacional de aceite de oliva ha sido de aproximadamente 18 000 Tn convirtiéndose el Perú en el primer país productor de aceite de oliva de América (RPP, 2014); siendo los residuos provenientes de éstos mismos considerados una preocupación.

Entre ellos se encuentra la poda del olivo que requiere realizar anualmente podas de formación, producción y renovación siendo de importancia para una buena campaña productiva; tradicionalmente, los residuos de poda de olivar se queman o se deja en los campos con el consiguiente riesgo de contaminación y propagación de plagas.

Así también producto del proceso del aceite de oliva se generan unos residuos líquidos llamados alpechines y una pasta sólida denominada orujo. Antigamente en los procesos tradicionales de obtención de aceite no se producían cantidades de estos subproductos residuales, por lo que su eliminación estaba dentro de los hábitos diarios de la zona rural empleado como abono para el campo, alimento para animales o como sustituto de la leña; sin embargo debido al incremento de producción generó que en algunos casos éstos residuos sean incinerados sobre los suelos o arrojados a los ríos afectando directamente a la contaminación del medio ambiente; una de las vías para utilizar los residuos son convirtiéndolos en briquetas.

Estudios realizados indican que no es adecuado la mezcla con más del 50% de orujo de aceituna por lo tanto se podría usar los residuos de poda de olivo; así mismo la mezcla de éstos componentes ha indicado

problemas de densificación por lo que en la investigación se ha propuesto el uso de aglutinante.

## **1.2. Formulación del problema.**

La interrogante general para el presente trabajo de investigación es el siguiente:

¿Es posible obtener briquetas a partir de residuos de Poda del olivo y Orujo de aceituna como fuente de energía alternativa?

## **1.3. Justificación e importancia.**

El incremento del consumo energético mundial en los últimos años, la necesidad de reducir la dependencia del petróleo y la toma de conciencia por disminuir los problemas ambientales asociados con el uso de los combustibles fósiles hace necesario el enfoque hacia el estudio y desarrollo de las energías alternativas como la biomasa. (REN 21 Renewable Energy Policy Network, 2016)

Las briquetas obtenidas a partir de residuos de poda del olivo y orujo de aceituna serán usadas como fuente de energía alternativa en la ciudad de Tacna.

Así mismo el uso de biomasa del olivo contribuye a la obtención de una fuente de energía barata que satisface necesidades; así como también el uso de menores cantidades de energía convencional siendo un potencial económicamente significativo lo cual contribuirá a un desarrollo sostenible mejorando así la calidad de vida de los nuestros.

El tema ambiental también será beneficiado, el estudio brinda una alternativa de solución ante problemas de contaminación causados por éstos residuos, utilizando la biomasa del olivar en la obtención de briquetas al sustituir la leña convencional reduciendo el impacto sobre el calentamiento global.

## **1.4. Objetivos.**

### **1.4.1. Objetivo general.**

Evaluar briquetas obtenidas a partir de residuos de poda del olivo y orujo de aceituna como fuente de energía alternativa

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- Determinar la proporción adecuada de orujo de aceituna, poda de olivo y aglutinante para la elaboración de briquetas.
- Determinar los factores más significativos respecto al índice de friabilidad, poder calorífico y la eficiencia del combustible de las briquetas obtenidas.

## **1.5. Hipótesis.**

Las briquetas obtenidas a partir de residuos de poda del olivo y orujo de aceituna tienen un alto poder calorífico.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del estudio.

Al-kassir (2013) evaluó las características de los diferentes residuos de Alentejo, con el objeto de su empleo como combustibles no contaminantes. Se han caracterizado varias muestras de esos residuos, y posteriormente se ha determinado el poder calorífico utilizando un calorímetro modelo (Parr 1351), se destacó el orujo por su alto poder calorífico con 5 412,44 Kcal/kg.

También Miranda, Montero, Román, Rojas y Nogales (2011) mezclaron el orujo de oliva y el roble pirenaico elaborando pellets con mezclas diferentes, los residuos se caracterizaron en términos de su análisis próximo y realizaron ensayos de combustión .Los resultados muestran que en cuanto a la combustión de pellets, las emisiones son ligeramente peores a partir de orujo de oliva, concluyendo que no es recomendable utilizar mezclas con más del 50% de este producto.

De acuerdo a Tierra y Fonseca (2011) elaboraron briquetas a partir de dos residuos; aserrín de madera y cascarilla de arroz realizando pruebas de producción con diferentes porcentajes de biomasa y aglutinantes ,determinaron el índice de friabilidad por el método del golpe contra el suelo y el poder calorífico utilizando una bomba calorimétrica; obteniendo dos mejores resultados , la primera con una composición de 10% de cola blanca con 90% de aserrín un poder calorífico de 28,41 MJ/kg siendo equivalente a 6 785,61 Kcal/kg, y 4% de almidón de yuca con 96% de cascarilla el valor de 16,92 MJ/kg equivalente a 4 041,27 Kcal/kg ; valor 1 de friabilidad para todas las pruebas.

Así también Gallipoliti, Corace y García (2012) fabricaron 24 briquetas a partir de aserrín blanco de pino, con una composición de 500 ml de aserrín con 300 ml de almidón y agua a discreción, determinaron el poder calorífico utilizando bomba de Mahler obteniendo briquetas con buen aspecto con 4 289,4 Kcal/kg de poder calorífico.



Similar al otro autor López et al., (2015) elaboraron briquetas a partir de diferentes sustratos, determina el consumo específico y la velocidad de combustión por el método de ebullición del agua (WBT), obtuvieron que la mejor mezcla de briquetas está compuesta por Granza 50% , aserrín fino 25 %, papel 12,5 % ,flor de pino 12,5% común valor de 143 g/L de consumo específico y mayor velocidad de combustión se da en la briqueta tres compuesta por papel 50% ,aserrín colococho 25%, ramitas 10% ,granza 8,4 % ,flor de pino 6,6%, consumiéndose 12 g/min transcurrido.

Finalmente Valderrama et al., (2007) elaboraron 3 tipos de briquetas a partir de residuos domiciliarios, realizaron ensayos de combustión por el método de ebullición del agua (WBT) y determinaron el poder calorífico las briquetas, obteniendo como mejor resultado la Briqueta tipo 1 con un poder calorífico de 13,83Kj/kg equivalente a 3 302 Kcal/kg y un tiempo de ebullición de 30 a 45 min para hervir ½ L de agua.

## **2.2. Bases teóricas.**

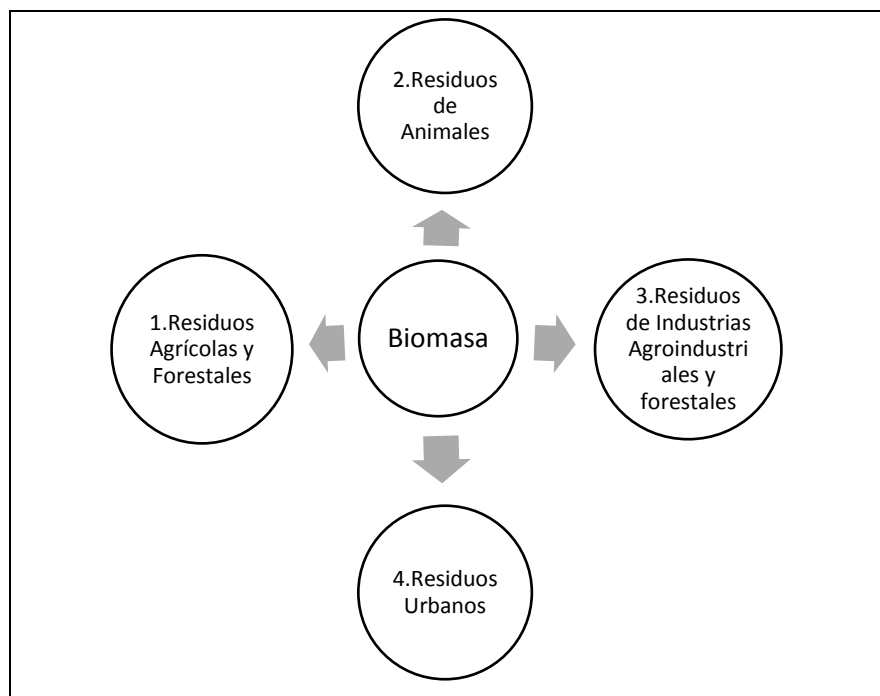
### **2.2.1. Biomasa.**

Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica, cuando éstos carbohidratos se queman regresan a su forma de dióxido de carbono y agua liberando la energía que contienen; de ésta forma la biomasa funciona como una especie de batería que almacena la energía solar(RENOVETEC, 2010)

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente.(Guzmán,Ambrosio y Toledo, 2016)

Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura (FAO) divide la biomasa en cuatro grupos: residuos agrícolas y forestales (1); los residuos de animales (2); los residuos

de industrias agrícolas y forestales (3); los residuos sólidos urbanos (4) .En la figura 1 se muestra las fuentes de energía según los tipos de biomasa.



*Figura 1:* Fuentes de Energía según tipos de Biomasa. Cuatro grandes grupos de residuos; Residuos agrícolas y forestales (1), Residuos animales (2), Residuos de Industrias Agroindustriales y forestales (3), y Residuos urbanos (4) conforman la biomasa. Adaptado de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura (FAO) ,2014.

### **2.2.2. Biomasa del olivo.**

Con una periodicidad bienal el olivo debe ser podado para mejorar el estado de las plantaciones. La biomasa residual del tratamiento de la aceituna es clasificada en dos grupos: el primero está constituido por la biomasa residual producida durante la cosecha del olivo; la poda y residuos de cosecha; el segundo grupo lo constituye la biomasa residual producida durante el proceso de extracción del aceite; orujo y alpechín. (Red OPET, 2002)

#### *2.2.2.1. Orujo de aceituna.*

Es el resultado del proceso de obtención del aceite de oliva en las almazaras, principalmente por medio de centrifugación y en un reducido número por el prensado lo cual genera éste subproducto. Por cada tonelada de aceituna procesada se obtiene aproximadamente 0,2 Tn de aceite de oliva y 0,8 Tn de orujo.(Lucas y Taranco, 2012)

#### *2.2.2.2. Poda de olivar.*

Definido como la serie de operaciones realizadas sobre los árboles en las que se modifica la forma natural de su vegetación, vigorizando el desarrollo de las ramas con el fin de darles forma y conseguir la máxima productividad o incluso renovar parte del árbol. La poda es necesaria para mantener el equilibrio entre las funciones vegetativas y reproductivas. (Molina et al., s.f.)

#### **2.2.3. Briquetas.**

La briqueta es considerada como una mezcla sólida combustible de sustancias aglomeradas de forma y tamaño adecuado para uso doméstico. (ICONTEC, 2003)

Las briquetas por lo general vienen en forma cilíndrica similares en apariencia al carbón pero están hechos de diversos residuos, con alto potencial como alternativa al uso de leña; además de la rapidez de fabricación a costos bajos siendo una tecnología probada en muchos países como Malawi, Nicaragua, Haití (Gamarra, 2010)

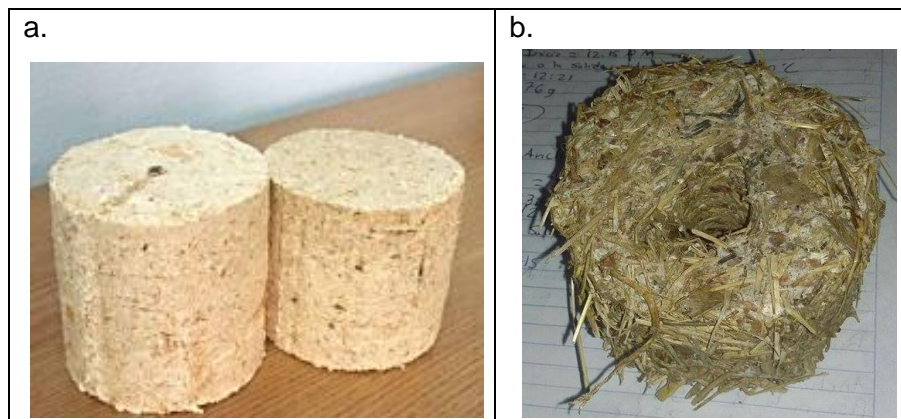


Figura 2. Modelos de Briquetas. a. Briquetas de aserrín. Adaptado del “Proyecto de creación de una fábrica de briqueta de aserrín en santa Rosa del Aguaray” por Da Silva, 2013 b. Briquetas de biomasa forestal. Adaptado de “Evaluación de los parámetros físicos y químicos de las briquetas obtenidas con la máquina briquetadora construida en FAREM-Estelí “por López, et.al, 2015

#### **2.2.4. Uso de las Briquetas.**

Los usos no industriales de las briquetas son como medio de calefacción y usados en cocinas no convencionales para preparación de alimentos en los hogares, el uso industrial de las briquetas es usado como combustible para la calefacción en áreas urbanas y como combustible para las industrias de energía debido a sus ventajas de fácil almacenamiento, transporte y uso, así como la eficiencia de combustión limpia y de alta. (Universidad Autónoma Nuevo León, 2015)

#### **2.2.5. Clasificación de briquetas.**

Fonseca y Tierra (2012) clasifican las briquetas de dos tipos: según su forma y según la tecnología utilizada.

##### *a. Según su forma.*

La forma de las briquetas por lo general es muy variada y dependerá mucho de la maquinaria utilizada. Sin embargo, la mayoría tiene

forma cilíndrica, con un hueco redondo en el centro de esta manera se consigue una ignición más rápida.

- Briquetas RUF

Briquetas sin aglutinantes. Estas poseen un alto poder calorífico, aproximadamente 5000 Kcal/kg. Su forma hace referencia a lingotes.

- Briquetas en forma de cilindro

Son tubos pequeños con un agujero al centro que hace más fácil su combustión. Estas se caracterizan por utilizar aglutinantes para su fabricación.

- Briquetas en forma de galleta

Son briquetas que presentan una forma cilíndrica al igual que la anterior, utilizan aglutinantes para su fabricación son de menor longitud y muchas veces sin el agujero en el centro.

*b. Según la tecnología utilizada.*

- Artesanales

Obtenidas por medio de prensas artesanales, no intervienen equipos sofisticados, ya que no se necesita producir a gran escala. La presión de compactación será baja, debido al aglutinante.

- Semi industriales

En este tipo de proceso las presiones se encuentran en el rango de 5 a 100 Mpa. El proceso de fabricación suele ser continuo con medianas producciones, en algunos casos la materia prima alcanza un grado de auto aglomeración.

- Industriales

En los procesos industriales se disponen de máquinas de altas presiones de compactado más de 100 Mpa, para exclusivamente producción continua a gran escala de briquetas. No se necesita utilizar aglutinante.

#### **2.2.6. Condiciones Generales de las briquetas.**

Condiciones generales de briquetas combustibles para uso doméstico según Norma técnica colombiana NTC 2060 (Ver anexo 5):

- 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.
- El tamaño, el poder calorífico y las características físicas de las briquetas deben ser uniformes.
- Poder calorífico de 3000 a 5000 kcal/kg.
- 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.
- 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.

#### **2.2.7. Aglutinante.**

Los aglutinantes o llamados también aglomerantes son aditivos que aumentan la fuerza del aglomerado, siendo capaces de generar

fuerzas para unir fragmentos, partículas de una o varias sustancias o materiales y dar cohesión al conjunto por métodos físicos, químicos o térmicos. Puede ser definido como cualquier material que tenga resultados satisfactorios en la compactación bajo menos presión que la necesaria para la compactación correspondiente sin aglomerante.

El aglutinante según NTC 2060 debe cumplir principalmente con los siguientes aspectos:

- De fácil preparación y aplicación.
- Debe ser de fácil obtención.
- De costo relativamente bajo.
- No ser contaminante durante su combustión.
- Al entrar en contacto con la piel no debe ser nocivo.
- Facilidad de mezclado con la materia prima.
- Debe poseer buenas propiedades de adhesión.

Los aglutinantes más empleados para realizar las briquetas, son los almidones y la cola blanca. Los cuales pueden ser considerados por presentar buenas propiedades de cohesión con la mezcla y además de menor costo que otros aglutinantes.(Fonseca y Tierra, 2012)

#### *2.2.7.1. Almidón.*

El almidón, proviene de la familia de los carbohidratos, constituidos de cadenas lineales (amilasa) y cadenas ramificadas (amilo pectina). Es considerado uno de los mejores aglutinantes utilizado principalmente para carbón vegetal, cascarilla de arroz y especies leñosas por presentar muy buenas propiedades de cohesión para éste tipo de material, y además de bajo costo respecto a otros aglutinantes.(Vicente, 2017)

La cantidad adecuada de adición de esta sustancia bordea desde el 8 al 20 % dependiendo del tipo de materia orgánica. El almidón es considerado como el aglutinante más efectivo, siendo bastante resistente a la fermentación y el ataque bacteriano durante

el almacenamiento de las briquetas recomendando agregar el 15 % en forma de pasta con agua caliente a 70°C. (Contreras, 2015)

#### *2.2.7.2. Cola Blanca.*

Es un pegamento clásico que está compuesto de acetato de polivinilo (PVA). Resulta adecuado para las uniones de madera, derivados y materiales porosos como el papel y el cartón. Los usos más generales están en el campo de la carpintería, aglomerante de pinturas, para acabados de mampostería, en manualidades, para la fabricación de briquetas de biomasa se utilizan porcentajes del 5 al 20% en peso. (Tierra y Fonseca, 2012)

#### **2.2.8. Proceso para la elaboración de briquetas.**

##### *2.2.8.1. Características del material base.*

###### a. Contenido de humedad

La biomasa debe encontrarse con una baja humedad para poder facilitar la molienda, por otra parte mientras menor sea la humedad del material inicial, la fricción en el proceso aumenta y con ello se incrementa la demanda de energía. Los límites de humedad dependen del material y el proceso de briqueteado que se utiliza, normalmente se acepta como humedad óptima alrededor de 7 %, y como superior 15 % (CubaSolar, 2013).

###### b. Tamaño de partículas

Puesto que en la mayor parte de materia orgánica se dificulta su compactación de forma directa, es necesario que las partículas del material orgánico posean un tamaño adecuado, que permita una adecuada ubicación de las partículas entre los intersticios de la estructura, lo cual ayuda a obtener una mejor compactación y acabado de la briqueta. El mejor aspecto de las briquetas se obtiene



cuando las fracciones de las partículas de los productos agrícolas, son inferiores a 3 mm. (Vicente, 2017)

#### 2.2.8.2. *Molienda de biomasa.*

Es uno de los factores de mayor importancia dentro del proceso de briqueteado el cual permite una mezcla buena obteniendo una mejor compactación y acabado de la briqueta. Según Ulloa y Gutiérrez (2015) existen diferentes tipos de molinos, los más usados son los siguientes:

a. Molino de discos

Con velocidad de alimentación, mayor fuerza de cizallamiento, discos de cizalla, estirados y de dientes.

b. Molino de martillos

Funcionan a altas velocidades, para uso en general, posee plato de ruptura y control de humedad para evitar aglomeraciones.

#### 2.2.8.3. *Prensado*

Proceso mediante el cual la mezcla es llevado a presiones elevadas por medio de una prensa. Esta tecnología va ayudar a expandir el uso de la biomasa como fuente productora de energía convirtiendo la materia prima en combustible. Teniendo como base la compactación o densificación de la biomasa, las tecnologías empleadas para fabricación de briquetas se pueden clasificar en: altas presiones de compactación (>100 Mpa), medianas presiones de compactación con dispositivos de calentamiento (5–100 Mpa y bajas presiones con el uso de aglutinantes (<5 Mpa). (Fonseca y Tierra 2012).

#### 2.2.8.4. Secado.

El proceso de secado puede realizarse de forma natural al aire libre, en mufla o secador solar. Se tienen que tener ciertas exigencias al momento de usar un secador. (Vicente, 2017)

- Realizar rápidamente las operaciones a que estén destinadas sin perjudicar el material a secarse.
- Utilizar con economía las fuentes de calor empleadas y en algunos casos la fuerza motor.
- Utilizar con economía las fuentes de calor empleadas y en algunos casos la fuerza motriz.

Según NTC 2060 las briquetas luego del proceso de secado deben tener como máximo 2,5 % de humedad.

#### 2.2.9. **Propiedades Físicas y Energéticas.**

##### 2.2.9.1. Friabilidad.

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 2060, un material es friable cuando se desmenuza fácilmente. La friabilidad es una variable muy importante en las briquetas, pues se están manipulando continuamente y chocando unas con otras, a mayor friabilidad menor la resistencia al golpeteo.

##### 2.2.9.2. Poder Calorífico.

El poder calorífico es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa; puede ser superior o inferior (Fernández s.f).

El superior, se refiere cuando el vapor de agua contenido en los gases de la combustión se condensa, en el inferior este vapor no condensa. Según la Norma Técnica Colombiana 2060, en su sección 4.1 Requisitos de las briquetas, el poder calorífico que debe tener una briqueta es de 3000 a 5000 Kcal/kg.

### 2.2.9.3. *Método de Gouthal Poder Calorífico a partir de análisis Inmediato.*

El Instituto del carbón menciona en su boletín informativo “Potencia calorífica de los carbones españoles a partir de los datos del análisis inmediato” muestra diferentes sistemas propuestos para determinar la potencia calorífica del carbón sin embargo demuestra que el único método que da resultados exactos para la determinación del poder calorífico es por medio del uso de la bomba calorimétrica, sin embargo éste método presenta ciertos inconvenientes para su empleo en la práctica industrial, siendo el manejo del equipo delicado, impidiendo la realización de ensayos simultáneos, así mismo precisa algunas valoraciones auxiliares para hallar ciertas correlaciones, siendo el método de Gouthal el más semejante a los resultados .

El método de Gouthal es un ensayo rápido que permite predecir el comportamiento de un combustible, se trata de una simple separación de los compuestos del combustible en función de sus diferentes volatilidades, proporcionando los contenidos en peso de las fracciones de cenizas, materias volátiles y carbono fijo.(Corrales, 1953)

### 2.2.9.4. *La Prueba de Ebullición de Agua (WBT versión 4.2.3).*

Es una simulación simple del proceso de cocción con la finalidad de medir cuan eficiente es un combustible en una estufa para calentar el agua en una olla y la cantidad de emisiones producidas durante el proceso. Este protocolo contiene instrucciones para la medición de los contaminantes emitidos por la estufa durante la cocción. La eficiencia y el consumo de combustible es una medida relativamente simple, la determinación de las mediciones de contaminantes es significativamente más complicada.(Global Alliance, 2014).

El WBT esta compuesto por tres fases: prueba de arranque en frío, prueba de arranque en caliente y prueba de fuego lento. A partir

de la aplicación de la primera parte de ésta prueba se puede determinar: el tiempo de ebullición, Consumo específico y la velocidad de combustión de las briquetas.

#### *2.2.9.5. Tiempo de ebullición (min).*

Es el tiempo que se considera desde que se inicia la prueba hasta cuando el agua llega al punto de ebullición.

#### *2.2.9.6. Consumo específico de combustible (g/L)*

Se define como medida de la cantidad de combustible requerida para hacer hervir un litro de agua, empezando con la estufa fría.

#### *2.2.9.7. Velocidad de combustión (g/min)*

Es la medida del rango de consumo de leña para lograr hervir el agua en un recipiente.

### **2.3. Definición de términos.**

#### **2.3.1. Energía Alternativa.**

Una energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación (BioGuía, 2011).

#### **2.3.2. Briquetas.**

Producto sólido 100 % ecológico y renovable, catalogado como bioenergía sólida, que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas (Martínez, 2015).

### **2.3.3. Aglutinante.**

El aglutinante, ligante o aglomerante son sustancias que generan fuerzas para unir fragmentos, partículas de una o varias sustancias o materiales que dan cohesión al conjunto por métodos físicos, químicos o térmicos. (Fonseca y Tierra, 2012)

### **2.3.4. Combustión.**

La combustión es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de energía, en forma de calor y luz, manifestándose visualmente como fuego. (Gutierrez y Carcachi, 2015)

### **2.3.5. Friabilidad.**

Según la Real Academia de la Lengua Española un material es friable cuando se desmenuza con facilidad, por lo tanto, la consideración de esta característica es de gran importancia ya que las briquetas están en constante manipulación y rozamiento entre ellos, sobre todo, en las fases de transporte.

### **2.3.6. Densificación.**

Valderrama et.al (2007), define la densificación como una técnica de aglomeración, cuyo propósito es obtener combustibles con mayor densidad que la materia prima original para fines energéticos.

## CAPITULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación.

El tipo de investigación utilizado fue experimental, usando diseño de mezclas sin restricciones determinando el efecto de tres componentes; poda de olivo (1), orujo de aceituna (2) aglutinante (3) para cinco variables de respuesta; friabilidad (1), poder calorífico (2), tiempo de ebullición (3) , velocidad de combustión (4) y consumo específico del combustible (5) resultando en siete corridas; modelo lineal y aleatorizado.

En la figura 3 se muestra el diseño de experimentación donde se observa que a partir de los componentes se obtienen siete tratamientos en diferentes proporciones obteniendo briquetas, donde se evaluaron cinco variables de respuesta.

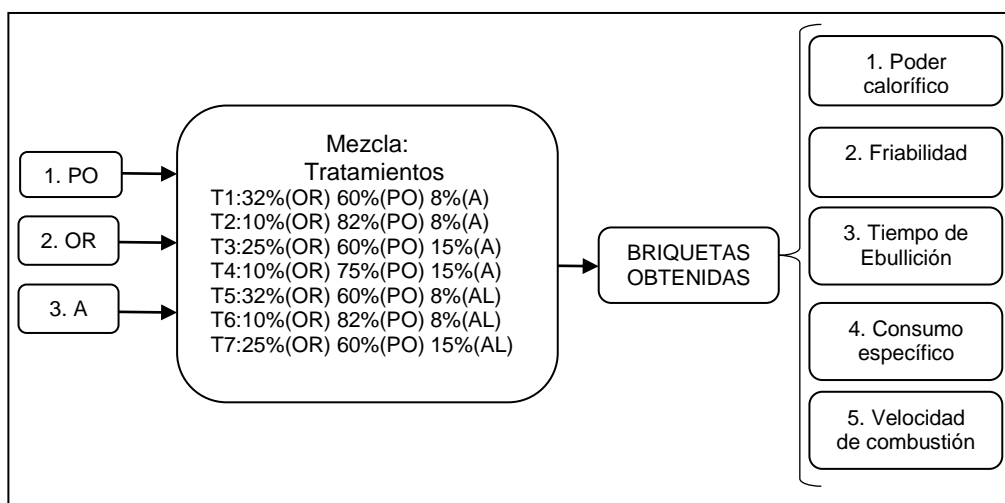


Figura 3. Diseño de experimentación. Se tiene como componentes PO=poda de Olivo, OR=Orujo de aceituna , A=Aglutinante , a partir de éstos componentes se obtienen siete tratamientos en diferentes proporciones T1=tratamiento 1, T2=tratamiento 2, T3=tratamiento 3, T4=tratamiento 4 , T5=tratamiento 5 , T6=tratamiento 6 y T7= tratamiento 7; donde se evaluaron cinco variables: Poder Calorífico(1), Índice de Friabilidad (2), Tiempo de ebullición(3), Consumo específico del combustible (4) y Velocidad de la combustión(5).

### **3.2. Muestras de estudio.**

La poda de olivo y los residuos de orujo de aceituna se recolectaron de campos de cultivo y empresas aceiteras del distrito La Yarada -Los Palos, posteriormente las pruebas se realizaron en los laboratorios de la Ingeniería Agroindustrial de la universidad Privada de Tacna.

### **3.3. Operacionalización de variables.**

#### **3.3.1. Variables Independientes.**

- Poda del olivo
- Orujo de aceituna
- Aglutinante: Almidón

#### **3.3.2. Variables dependientes.**

- Poder calorífico
- Friabilidad
- Eficiencia del combustible : Tiempo de Ebullición (1) , Velocidad de combustión (2) ,Consumo específico del combustible (3)

### **3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.**

#### **3.4.1. Elaboración de briquetas.**

En la figura 4 se presenta las principales etapas para la elaboración de briquetas donde se tiene como componentes principales a la poda de olivo y orujo de aceituna, estos componentes se juntan en el mezclado adicionando el aglutinante, obteniendo las briquetas para posteriormente secarlas y almacenarlas.

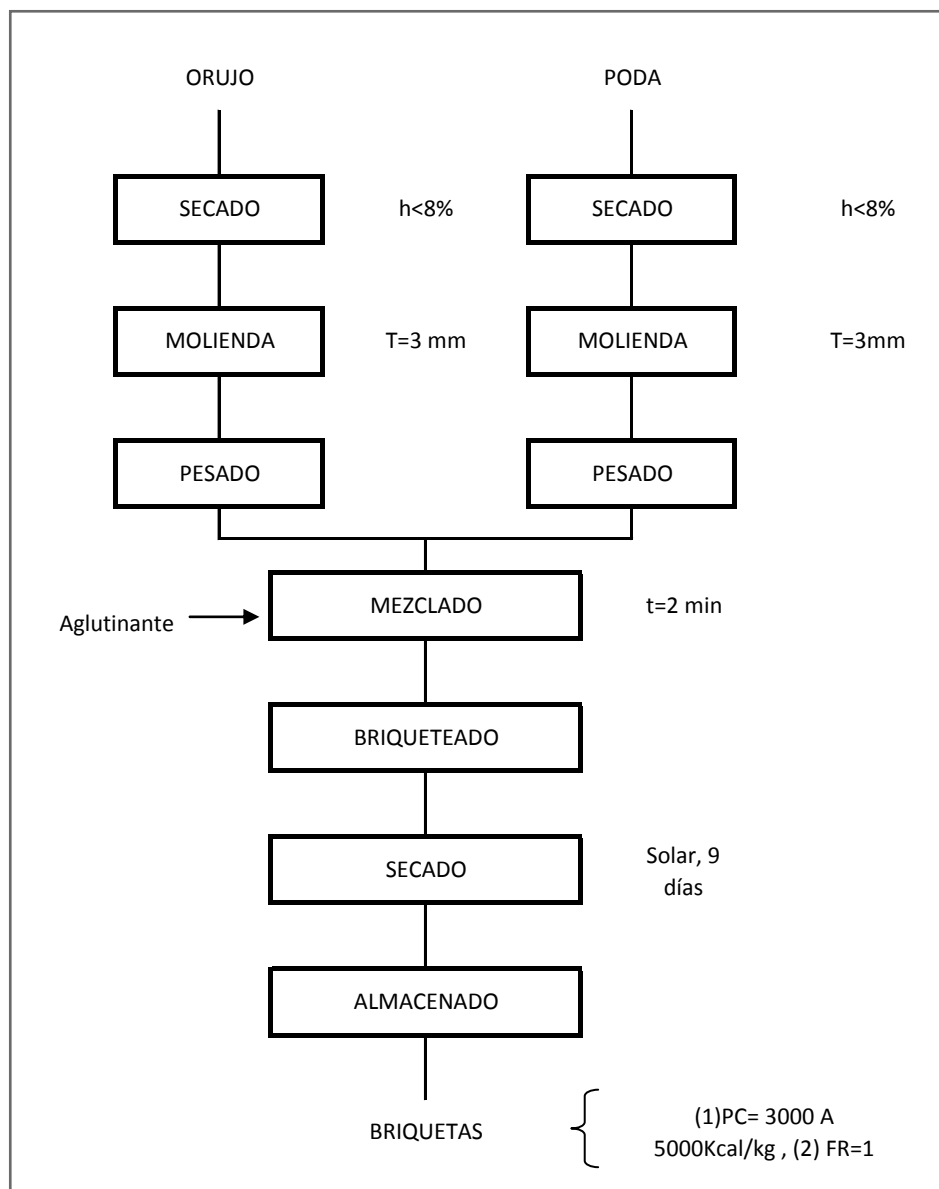


Figura 4. Etapas para la elaboración de briquetas. Se tiene como componentes principales poda de Olivo y Orujo de aceituna, estos componentes se juntan en el mezclado adicionando el aglutinante logrando en la etapa final del proceso las briquetas. Donde h=humedad; T= Tamaño; t=tiempo; PC= Poder Calorífico; FR=Índice de Friabilidad

La metodología seguida para la elaboración de briquetas toma referencia el método descrito por Valderrama, Curo, Quispe, Llantoy y Gallo (2007); fue la siguiente:

Inicialmente con el fin de obtener la materia prima, se realizó la molienda de los residuos de poda y orujo con un molino de martillos para granos marca HYVANOX modelo ZEL-4060G de serie 84762



con motor 4.0 HP, seguidamente un zarandeo obteniendo el tamaño adecuado. Posteriormente para preparar el aglutinante; se pesó el almidón según cada tratamiento y se mezcló con agua, ésta solución se calentó hasta punto de ebullición con movimientos constantes a fin de no formar gránulos.

Luego se mezcló el aglutinante con la biomasa hasta formar una masa pastosa con dos min de agitación.

Finalmente el formado se realizó en una briqueteadora de madera que consta de tres partes; una estructura base de 60 cm de altura (1), una gata hidráulica (2) y moldes de cloruro de polivinilo (PVC) de 15 cm de altura con 11 cm de diámetro (3)(Ver anexo 2). Se moldearon siete briquetas por triplicado, adicionalmente para el índice de friabilidad se obtuvo 20 briquetas por cada tratamiento, teniendo un total de 140 briquetas para su análisis.

El secado se realizó en bandejas de acero inoxidable sobre una superficie expuesta directamente al sol (Ver anexo 3)

Finalmente se obtuvieron las briquetas (Ver anexo 4) y se almacenaron en bolsas de papel kraft en un lugar seco y fresco.

### **3.4.2. Materiales y Equipos.**

#### **3.4.2.1. Equipos.**

Los equipos empleados fueron:

- Balanza analítica Marca Adam Equipment 120g x 0.0001g.
- Estufa eléctrica marca RAYPA con termostato regulable.
- Desecador de vacío marca Duran 247814603 con sal higroscópica silicagel.
- Mufla eléctrica marca Felisa de hasta 1700°C de capacidad.
- Capsulas de porcelana Haldenwanger N°6.
- Termómetro digital con una precisión de 0,5 °C.
- Tamiz 3 mm marca FILTRA.

### 3.4.2.2. *Materiales.*

- Cronómetro Q& Q Hs45 Stop Watch Ndph.
- Ollas estándar capacidad 1 L.
- Guantes para altas temperaturas con recubierta de nitrilo marca PIP.
- Pinzas.
- Regla de metal marca Artesco de 30 cm.
- Cinta métrica marca STANLEY.
- Cocina no convencional de metal.
- Bandejas de acero inoxidable.
- Papel aluminio.

### 3.4.3. ***Determinación del poder calorífico, índice de friabilidad, y la eficiencia del combustible.***

#### 3.4.3.1. *Determinación del poder calorífico.*

Se determinó el poder calorífico por el análisis inmediato de los tratamientos conociendo el porcentaje de contenido de humedad, materias volátiles, cenizas y carbono fijo, en base seca. Para tal efecto se calculó el poder calorífico de acuerdo a la fórmula de Gouthal método descrito por Carbajal (2012).

$$\text{Poder Calorífico Superior} = 82 C_f + AV \text{ Kcal/kg} \quad [1]$$

Donde:

$C_f$  = contenido de carbono fijo (%)

$V$  = contenido de materia volátil (%)

$A$  = coeficiente obtenido de la relación siguiente:  $A = \frac{(V)}{(V+C)}$

Donde:

$V$  = contenido de materia volátil (%)

$C$  = contenido de cenizas (%)

a. Determinación de Carbono Fijo

Se determinó de acuerdo a la norma ASTM D – 3172 empleando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Carbono Fijo} = 100 - (H + C + MV) \quad [2]$$

Donde:

H = contenido de humedad (%)

MV = contenido de materia volátil (%)

C = contenido de cenizas (%)

b. Determinación de Material Volátil

Se calculó de acuerdo a la norma ASTM D – 1762 pesando 2 g de muestra de carbón que acondicionado en un crisol fue colocado en la entrada de la mufla a una temperatura de 950 °C y se dejó por 7 min , posteriormente se enfrió en una desecadora por 25 min, anotando los pesos obtenidos. Finalmente se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{Material volátil} = \frac{(P_i - P_f)}{P_f} \times (100 - H) \quad [3]$$

Donde:

P<sub>i</sub>= peso inicial de la muestra de carbón (g)

P<sub>f</sub>= peso final de la muestra (g)

H = contenido de humedad (%)

c. *Determinación de Cenizas.*

Se determinó de acuerdo a la norma ASTM D - 1762S (2001), pesando 2 g de muestra carbonizada en una cápsula de porcelana, que fue llevada a la mufla a 450 °C por 2 h hasta lograr su

incineración total, seguidamente fue colocado en la desecadora por 30 min. El contenido de ceniza se determina con la siguiente fórmula:

$$\% \text{Cenizas} = \frac{(P_f)}{P_i} \times 100 \quad [4]$$

Donde:

Pf = peso de las cenizas blancas (g).

Pi = peso húmedo o acondicionado de la muestra (g).

*d. Determinación de Humedad.*

Se determinó según la Norma ASTM D –1762. (2001) pesando 10 g de muestra, para ser secada en estufa a 103 °C hasta obtener un peso constante, finalmente se pesa la muestra final. El porcentaje de humedad se calcula con la fórmula:

$$\text{Humedad}\% = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100 \quad [5]$$

Donde:

Pi = peso inicial de la muestra (g).

Pf = peso final seco en estufa (g).

*3.4.3.2. Determinación del índice de Friabilidad.*

Se tomó como referencia el método golpe contra el suelo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 2060. Se dejaron caer las briquetas sobre una superficie de cerámica desde una altura de 1m. Para realizar ésta prueba se utilizó 20 briquetas por tratamiento, luego se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de Friabilidad} = \frac{NF}{NI} \quad [6]$$

Donde:

NF = Número de briquetas al final del ensayo (enteras y fraccionadas).

NI = Número de briquetas al inicio del ensayo.

### 3.4.3.3. *Determinación de la eficiencia del combustible.*

Este parámetro se determinó por el método The Water Boiling Test (WBT) versión 4.2.2 modificado, descrito por Gamarra (2010), utilizando sólo la primera fase de la prueba donde se inicia con la estufa fría y termina cuando el agua llega al punto de ebullición. Posteriormente se combustionó dos briquetas de un mismo tipo, para hervir 1 L de agua en un recipiente, ubicadas a una distancia de 5 cm de la base, apoyadas una con la otra y colocando el iniciador en el centro. Para el iniciador se respondió a las condiciones generales de la NTC 2060 escogiendo un mechero pequeño a base de mazorca de maíz (ICONTEC, 2003).

A partir de ésta prueba se determinaron las siguientes variables:

#### a. *Tiempo de ebullición (min)*

Para determinar el tiempo de ebullición se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo de Ebullición} = T_f - T_i \quad [7]$$

Donde

$T_i$  = tiempo inicial de la prueba con estufa fría (min)

$T_f$  = tiempo final cuando el agua inicia su punto de ebullición (min)

#### b. *Consumo Específico del combustible (g/L)*

El consumo específico se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo Específico} = P_f - P_i \quad [8]$$

Donde

$P_i$  =Peso de las briquetas antes de iniciar la prueba (g)     $P_f$ =    Peso final del residuo obtenido (g)

c. *Velocidad de combustión (g/min)*

Para determinar la velocidad de combustión se tuvo en cuenta el consumo específico y el tiempo de ebullición, se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Velocidad de combustión} = \frac{C_e}{T_e} \quad [9]$$

Donde

$C_e$ = consumo específico del combustible (g)

$T_e$ = tiempo de ebullición (min)

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Determinación de las proporciones de materia prima.

Para establecer una mezcla adecuada se utilizó valores mínimos y máximos de orujos de aceituna (0,1 – 0,23), poda de olivo (0,6 – 0,82) y aglutinante (0,08 – 0,15).

El diseño de mezcla empleado para el experimento dio como resultado siete tratamientos experimentales presentados en la tabla 1, las corridas experimentales se realizaron por triplicado donde puede destacarse que los factores que intervienen son las proporciones de los componentes de la mezcla, y las respuestas a optimizar son función de esas proporciones con respecto al total (100 %) y no dependen de la cantidad de cada componente (Nikzade, Tehrani y Saadatmand, 2012; Salamanca, Reyes, Osorio, Rodríguez, 2015) permite analizar la respuesta más adecuada.

Tabla 1.

Tratamientos según los porcentajes de composición

Tratamiento	Orujo (%)	Poda (%)	Aglutinante (%)
T1	32	60	8
T2	10	82	8
T3	25	60	15
T4	10	75	15
T5	32	60	8
T6	10	82	8
T7	25	60	15

*Nota: T1 –T7 tratamientos obtenidos del diseño de mezclas de tres componentes; orujo; poda; aglutinante*

#### 4.2. Resultados de factores evaluados.

En la tabla 2 se muestra un resumen de los valores hallados para el poder calorífico, índice de friabilidad, tiempo de ebullición, consumo específico del combustible y velocidad de combustión de las briquetas obtenidas.

Se destaca que el tratamiento 2 compuesto por 10 % de orujo, 82 % de poda y 8% de aglutinante obtuvo un poder calorífico superior a los demás tratamientos, con respecto al índice de friabilidad los tratamientos 3, 4 y 7 reportaron valores inferiores por ende mayor resistencia a los golpes. Así mismo el tratamiento 4 compuesto por 10 % de orujo, 75 % de poda y 15% de aglutinante destaca respecto a los demás valores del tiempo ebullición donde es requerido un tiempo mínimo. Sin embargo el tratamiento 4 tiene mejores condiciones con respecto al consumo específico donde se requiere menores valores. Finalmente en la velocidad de combustión destaca el tratamiento 7 compuesto por 25 % de orujo, 60 % de poda y 15 % de aglutinante resultando como mínimo valor 3,71 g/min.

Tabla 2

*Resumen de los valores hallados del poder calorífico, friabilidad y eficiencia de la combustión de las briquetas*

Tratamiento	Orujo	Poda	Aglutinante	PC (Kcal/kg)	F	TE (min)	CE (g/L)	VC (g/min)
T1	0,32	0,6	0,08	4735,38	1,35	23	104,55	4,55
T2	0,1	0,82	0,08	5874,24	1,75	18	99,84	5,55
T3	0,25	0,6	0,15	4824,22	1,0	25	105,14	4,21
T4	0,1	0,75	0,15	5381,2	1,0	17	97,31	5,72
T5	0,32	0,6	0,08	5186,09	1,45	24	107,60	4,48
T6	0,1	0,82	0,08	5581,84	1,65	20	101,83	5,09
T7	0,25	0,6	0,15	5106,03	1,0	27	100,09	3,71

*Nota: T1 –T7 tratamientos obtenidos del diseño de mezclas de tres componentes; Orujo; poda; aglutinante PC = Poder calorífico; F= Friabilidad; TE= Tiempo de ebullición; CE=Consumo específico; VC=Velocidad de combustión*



#### 4.2.1. Poder Calorífico.

En la figura 5 se observa el comportamiento de las variables frente a una superficie de respuesta destacando la poda de olivo cuya tendencia da como resultado que a mayor porcentaje en la mezcla se obtiene un mayor poder calorífico, mientras que a menos porcentaje de orujo de aceituna en la mezcla se obtiene mayor poder calorífico, con respecto al aglutinante se observa que a mayor porcentaje de aglutinante en la mezcla el poder calorífico es mayor.

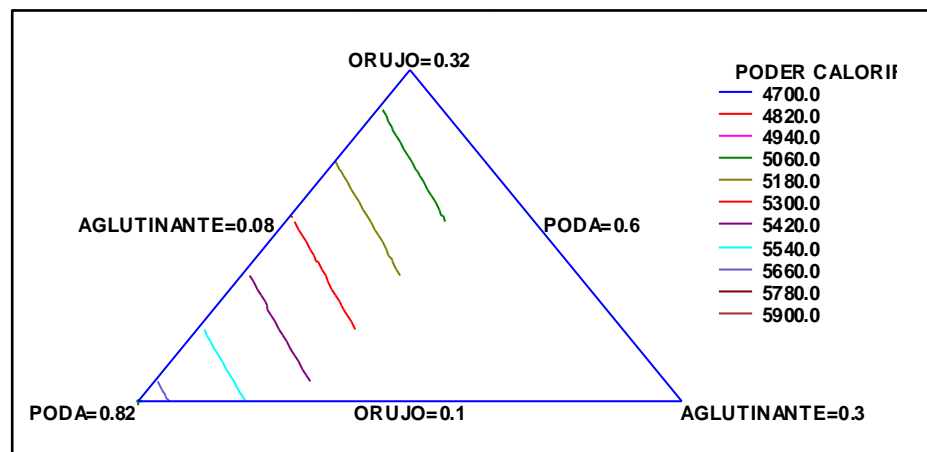


Figura 5. Contornos de la superficie respuesta estimada del poder calorífico respecto a los componentes; orujo de aceituna (0,1- 0,32), poda de olivo (0,82- 0,6), y aglutinante (0,08-0,3). El poder calorífico representa los valores obtenidos a partir de la mezcla de componentes.

Así mismo en la ecuación 10 representa el modelo lineal ajustado del poder calorífico donde el modelo estimado describe el comportamiento de las variables en un sistema de superficie de respuesta donde los valores que se estiman con el modelo maximizan los valores del poder calorífico.

$$\text{Poder calorífico} = 4979.31 \cdot \text{orujo} + 5709.46 \cdot \text{poda} + 4849.07 \cdot \text{aglutinante} \quad [10]$$

Para comprobar la significancia de los componentes de la mezcla sobre el poder calorífico, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), tal como se muestra en la tabla 3, donde evidencia que existe una relación estadísticamente significativa ( $p=0,0370$ ) entre poder calorífico y los componentes, con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 3.

*Análisis de varianza para el Poder Calorífico.*

Fuente	S C	Gl	CM	Razón-F	Valor-p
Modelo Lineal	797546	2	398773	8.40	<b>0.0370</b>
Error total	189863	4	47465.9		
Total (corr.)	987409	6			

*Nota: SC = Suma de Cuadrados; Gl= grados de libertad; CM= Cuadrado medio; Razón-F=Distribución Fisher, Valor-P= Significancia*

#### **4.2.2. Índice Friabilidad.**

En la figura 6 se observa el comportamiento de las variables frente a la superficie de respuesta friabilidad.

Se destaca el orujo de aceituna cuya tendencia da como resultado que a mayor porcentaje en la mezcla se obtiene menor índice de friabilidad, de similar forma sucede con respecto al aglutinante; mientras que a menor porcentaje de poda en la mezcla se obtiene mayor índice de friabilidad por ende menor resistencia a los golpes.

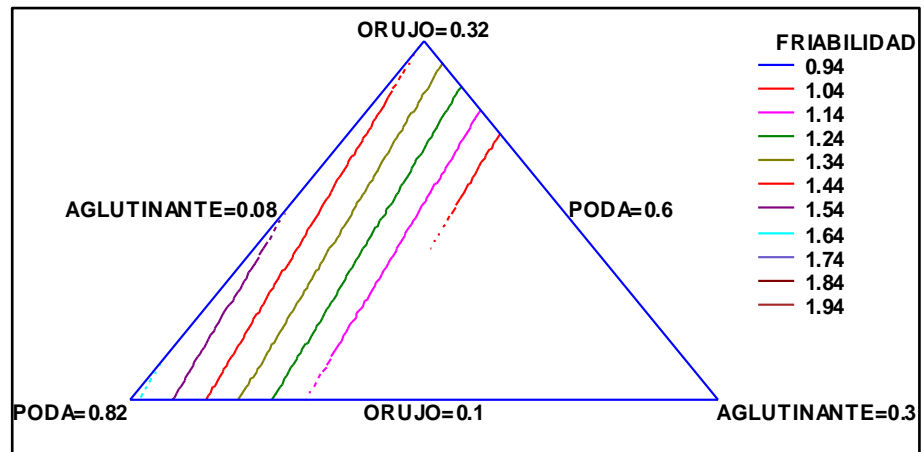


Figura 6. Contornos de la Superficie respuesta estimada del Índice de friabilidad respecto a los componentes; orujo de aceituna (0,1- 0,32), poda de olivo (0,82- 0,6), y aglutinante (0,08- 0,3). El índice de friabilidad representa los valores obtenidos a partir de la mezcla de componentes.

En la ecuación 11 se muestra el modelo lineal ajustado del índice de friabilidad donde el modelo estimado describe el comportamiento de las variables en un sistema de superficie de respuesta, donde los valores que se estiman con el modelo maximizan los valores del índice de friabilidad.

$$\text{Índice de Friabilidad} = 1.43549 \cdot \text{orujo} + 1.66451 \cdot \text{poda} - 0.0967778 \cdot \text{aglutinante} \quad [11]$$

Para comprobar la significancia de los componentes de la mezcla sobre el índice de friabilidad, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), tal como se muestra en la tabla 4, donde evidencia que existe una relación estadísticamente significativa ( $p=0,0026$ ) entre el índice de friabilidad y los componentes con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 4.

*Análisis de varianza para el Índice de Friabilidad.*

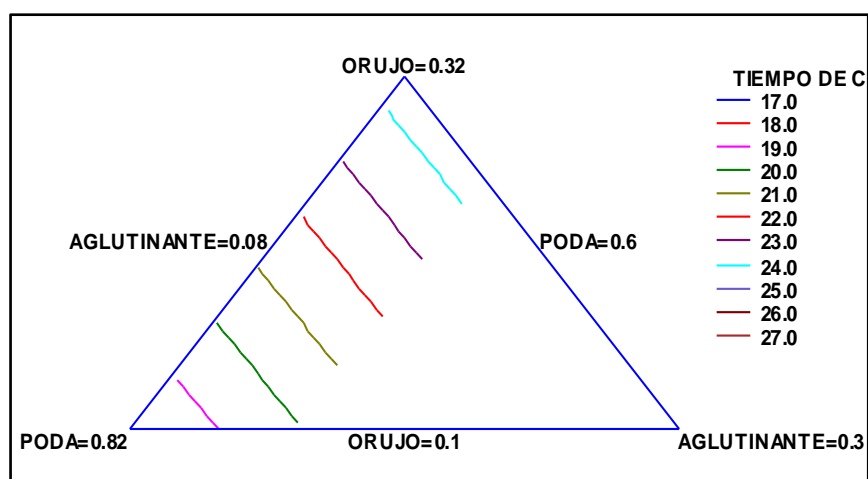
Fuente	SC	GI	CM	Razón -F	Valor-p
Modelo Lineal	0.587278	2	0.293639	37.53	<b>0.0026</b>
Error total	0.0312934	4	0.00782334		
Total (corr.)	0.618571	6			

*Nota: SC = Suma de Cuadros; GI= grados de libertad; CM= Cuadrado medio; Razón-F=Distribución Fisher, Valor-P= Significancia*

### 4.2.3. Evaluación de la Eficiencia del Combustible

#### 4.2.3.1. Tiempo de Ebullición.

En la figura 7 se observa el comportamiento de las variables frente al tiempo de ebullición. Se destaca la poda de olivo cuya tendencia da como resultado que a mayor porcentaje en la mezcla se obtiene un menor tiempo de ebullición, de similar forma con respecto al aglutinante; mientras que a menor porcentaje de orujo de aceituna en la mezcla se obtiene menor tiempo de ebullición.



*Figura 7. Contornos de la Superficie respuesta del tiempo de ebullición respecto a los componentes; orujo de aceituna (0,1-0,32), poda de olivo (0,82-0,6), y aglutinante (0,08-0,3). El tiempo de ebullición representa los valores obtenidos a partir de la mezcla de componentes.*

En la ecuación 12 se representa el modelo lineal ajustado del tiempo de ebullición, donde el modelo estimado describe el comportamiento de las variables en un sistema de superficie de respuesta, donde los valores que se estiman con el modelo maximizan los valores del tiempo de ebullición.

$$\text{Tiempo de ebullición} = 24.5292 \cdot \text{orujo} + 17.9708 \cdot \text{poda} + 24.4077 \cdot \text{aglutinante} \quad [12]$$

Para comprobar la significancia de los componentes de la mezcla sobre el tiempo de ebullición, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), tal como se muestra en la tabla 5; donde evidencia que no existen una relación estadísticamente significativa ( $p=0,0712$ ) entre los componentes y el tiempo de ebullición, con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 5.

*Análisis de varianza para el Tiempo de ebullición.*

Fuente	SC	Gl	CM	Razón -F	Valor-p
Modelo Lineal	61.5923	2	30.7961	5.50	<b>0.0712</b>
Error total	22.4077	4	5.60193		
Total (corr.)	84.0	6			

*Nota: SC = Suma de Cuadrados; Gl= grados de libertad; CM= Cuadrado medio; Razón-F=Distribución Fisher, Valor-P= Significancia*

#### 4.2.3.2. Consumo específico del combustible.

En la figura 8 se observa el comportamiento de las variables frente a una superficie de respuesta. Se destaca la poda de olivo cuya tendencia da como resultado que a mayor porcentaje de éste componente en la mezcla se obtiene menos consumo específico del combustible, mientras que a menor porcentaje de orujo en la mezcla se obtiene menor consumo específico, y con respecto al

aglutinante se observa que a mayor porcentaje de éste componente se obtienen menos consumo específico.

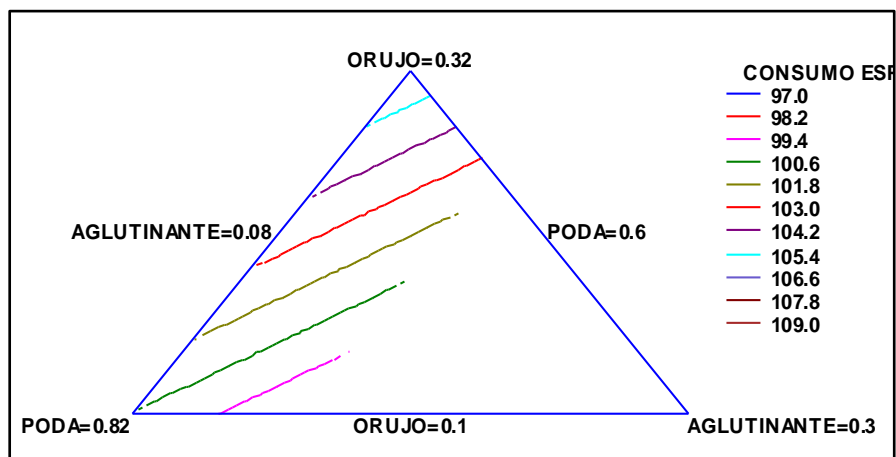


Figura 8. Contornos de la Superficie respuesta estimada del consumo específico respecto a los componentes; orujo de aceituna (0,1-0,32), poda de olivo (0,82-0,6), y aglutinante (0,08-0,3). El consumo específico representa los valores obtenidos a partir de la mezcla de componentes.

En la ecuación 13 se representa el modelo lineal ajustado del consumo específico donde el modelo estimado describe el comportamiento de las variables en un sistema de superficie de respuesta, donde los valores que se estiman con el modelo maximizan los valores del consumo específico del combustible.

$$\text{Consumo Específico} = 106.381 \cdot \text{orujo} + 100.539 \cdot \text{poda} + 93.1769 \cdot \text{aglutinante} \quad [13]$$

Para comprobar la significancia de los componentes de la mezcla sobre el consumo específico del combustible, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), tal como se muestra en la tabla 6, donde evidencia que no existe una relación estadísticamente significativa ( $p=0,0733$ ) entre los componentes y el consumo específico con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 6.

Análisis de varianza para el Consumo específico.

Fuente	SC	GI	CM	Razón -F	Valor-p
Modelo Lineal	56.3768	2	28.1884	5.39	<b>0.0733</b>
Error total	20.9291	4	5.23228		
Total (corr.)	77.3059	6			

Nota: SC = Suma de Cuadrados; GI= grados de libertad; CM= Cuadrado medio; Razón-F=Distribución Fisher, Valor-P= Significancia

#### 4.2.3.3. Resultado de la Velocidad de combustión.

En la figura 9 se observa el comportamiento de las variables frente a la velocidad de la combustión. Se observa que a mayor porcentaje de orujo de aceituna en la mezcla da como resultado menor velocidad de combustión, mientras que a menor porcentaje de poda de olivo en la mezcla se obtiene menor velocidad de combustión, de forma similar ocurre con el aglutinante a menor porcentaje de éste componente, resulta menor la velocidad de combustión.

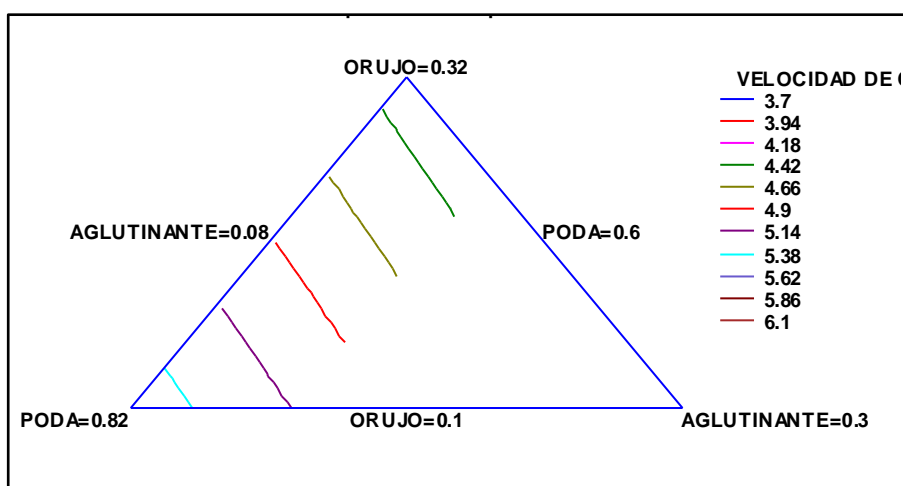


Figura 9. Contornos de la Superficie respuesta estimada de la velocidad de combustión respecto a los componentes; orujo de aceituna (0,1- 0,32), poda de olivo (0,82- 0,6), y aglutinante (0,08- 0,3). La velocidad de combustión representa los valores obtenidos a partir de la mezcla de componentes.

En la ecuación 14 se representa el modelo lineal ajustado de la velocidad de combustión donde el modelo estimado describe el comportamiento de las variables en un sistema de superficie de respuesta, donde los valores que se estiman con el modelo maximizan los valores de la velocidad de combustión.

$$\text{Velocidad de combustión} = 4.30487 \cdot \text{orujo} + 5.53013 \cdot \text{poda} + 4.18962 \cdot \text{aglutinante} \quad [14]$$

Para comprobar la significancia de los componentes de la mezcla sobre la velocidad de combustión, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), donde no muestra relación estadísticamente significativa ( $p=0,0948$ ) entre con los componentes y la velocidad de combustión con un nivel de confianza del 95% tal como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7.

Análisis de varianza para la velocidad de combustión.

Fuente	SC	GI	CM	Razón -F	valor-p
Modelo Lineal	2.2023	2	1.10115	4.50	<b>0.0948</b>
Error total	0.979786	4	0.244947		
Total (corr.)	3.18209	6			

*Nota: SC = Suma de Cuadrados; GI= grados de libertad; CM= Cuadrado medio; Razón-F=Distribución Fisher, Valor-P= Significancia*

#### 4.3. Determinación de la proporción adecuada de componentes que maximizan los factores evaluados.

Los valores que resultan con significancia estadística fueron el poder calorífico y el índice de friabilidad con ( $p<0,05$ ).

La finalidad fue maximizar el poder calorífico considerando que éste factor es la característica fundamental que define a un combustible como tal, altos poderes caloríficos indican buenos combustibles. La proporción



adecuada está compuesta por orujo de aceituna 10 %, poda del olivo 82 % y aglutinante 8 % las cuales maximizan los valores del poder calorífico con 5 709,46 Kcal/kg siendo mostradas en la tabla 8. Dichos resultado se verifica con lo observado en el gráfico de superficie de respuesta.

Tabla 8.

*Proporción adecuada de componentes que maximizan el poder calorífico*

---

Poder calorífico: 5 709,46 Kcal/kg

---

Componente	Proporción de mezcla (%)
Orujo de aceituna	10
Poda de olivo	80
Aglutinante	8

---

Por otro lado, respecto al índice de friabilidad la finalidad fue minimizar dicho índice considerando que es friable cuando se desmenuza fácilmente siendo un factor importante muy importante en las briquetas pues se manipulan continuamente y rozan unas con otras por lo cual se busca que éstos valores sean mínimos la proporción adecuada está compuesta por orujo de aceituna 25 %, poda del olivo 60 % y aglutinante 15 % las cuales minimizan los valores del índice de friabilidad con un valor de 0,9475 siendo mostrado en la tabla 9. Dicho resultado se verifica con lo observado en el gráfico de superficie de respuesta

Tabla 9.

*Proporción adecuada de componentes que minimizan el índice de friabilidad*

---

Índice de friabilidad: 0,9475

---

Componente	Proporción de mezcla (%)
Orujo de aceituna	25
Poda de olivo	60
Aglutinante	15

---

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN

El hallazgo más importante en la investigación son los valores del poder calorífico (5 709,46 Kcal/kg) que corresponden a la mezcla compuesta por 10 % de orujo de aceituna, 82 % de poda de olivo y 8 % de aglutinante, este resultado es superior a lo obtenido por Gallipoliti (2012) en briquetas de aserrín con un poder calorífico de 4 289,4 Kcal/kg, de igual forma con la norma técnica colombiana (NTC 2060) que indica valores entre 3 000 Kcal/kg y 5 000 Kcal/kg para briquetas; también superior al valor obtenido por Valderrama et.al (2007) en briquetas a partir de residuos domiciliarios con 3 302 Kcal/kg; sin embargo se aproxima al valor obtenido por Al-Kassir (2013) con 5 412,44 kcal/kg para el orujo de aceituna; estos resultados podrían estar sustentados en la composición de las briquetas, en especial el material lignocelulósico de la poda del olivar que actuarían como una buena fuente calorífica.

De forma similar, se encontró que la mezcla compuesta por 25 % de orujo de aceituna, 60 % de poda de olivo y 15 % de aglutinante resultó con el mínimo valor de friabilidad (0,947) éste resultado es inferior a lo obtenido por Tierra y Fonseca (2012) quienes encontraron índices de friabilidad iguales a 1 para briquetas de aserrín. De modo similar al poder calorífico éste resultado puede sustentarse en la composición de las briquetas y en el mayor uso de aglutinante.

Es interesante analizar la eficiencia del combustible de las briquetas, la mezcla compuesta por 10 % de orujo de aceituna, 75 % de poda de olivo y 15 % de aglutinante obtuvo mejores resultados respecto al tiempo de ebullición y consumo específico del combustible resultando que para hervir un litro de agua se requiere 17 min siendo necesario 97,31 g de briqueta, siendo éste último el consumo específico. Con respecto a la velocidad de combustión la mezcla compuesta por 25 % de orujo de aceituna, 60 % de poda de olivo y 15 % de aglutinante obtuvo mejor resultado obteniendo 3,71 g/min de velocidad de combustión. Dichos resultados resultan mejores a lo reportado por Valderrama et.al (2007) quien fabricó briquetas a partir de residuos domiciliarios obteniendo un tiempo de ebullición de 35 a 45 min necesarios

para hervir 1L de agua , no obstante López et.al (2015) obtuvo una mezcla compuesta por granza 50 % aserrín fino 25 %, papel 12,5 %, flor de pino 12,5 % con consumo específico mayor al obtenido de 143 g/L y la velocidad de combustión de 12 g/min para una briqueta compuesta por papel 50 %, aserrín colococho 25 %, ramitas 10 % ,granza 8,4 % y flor de pino 6,6 %. Del mismo estos resultados podrían estar sustentados en la composición de las briquetas.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES

1. Las briquetas obtenidas a partir de poda de olivo y orujo de aceituna empleando el almidón como aglutinante, presentaron un adecuado poder calorífico resultando fuente de energía alternativa.
2. La proporción adecuada de componentes para elaborar briquetas que maximiza el poder calorífico fue de 10 % de orujo de aceituna, 82 % de poda de olivo y 8 % de aglutinante, mientras que para minimizar el índice de friabilidad fue de 25 % de orujo de aceituna, 60 % de poda de olivo y 15 % de aglutinante que resultaron con los mejores factores evaluados.
3. Los factores más significativos fueron el índice de friabilidad y el poder calorífico con una probabilidad del 95 %, así mismo no se encontró ningún efecto significativo en los demás factores respecto a las propiedades evaluadas.

## CAPÍTULO VII

### RECOMENDACIONES

1. Se recomienda evaluar las emisiones generadas por la combustión de las briquetas para asegurar su uso alternativo.
2. Evaluar la eficiencia del combustible con respecto al tamaño de partícula de la biomasa utilizada; poda de olivo y orujo de aceituna.
3. Se recomienda realizar el estudio del comportamiento de diferentes tipos de aglutinantes en la elaboración de briquetas a partir de poda de olivo y orujo de aceituna.
4. Se recomienda realizar el análisis del contenido total de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre para asegurar la calidad del combustible.

## CAPÍTULO VIII

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-kassir R. (2013). Caracterización y preparación de residuos de biomasa con ensayos experimentales de secado térmico y combustión no contaminante. Portalegre.
- Bioguía, I. (2011). Tecnologías: Energía Alternativa. *La bioguía* .
- Carbajal C. (2012). *Estudio de la transformación química de la madera de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales*.
- Contreras G. (2015). Lima, Perú: Asociación para la Investigación y desarrollo integral (AIDER). Aglutinantes. *Ingeniería en alimentos* .
- Corrales A. (1953). Calculo de la potencia calorífica de los carbones a partir de los datos del análisis inmediato. *Boletín Informativo* , 8.
- Cuba Solar (2013). Combustibles sólidos de baja densidad (segunda parte). *Cuba Solar* , 1.
- Fernandez (s.f.). Poder calorifico de combustibles industriales. *Edutecne Universidad Tecnológica Nacional* , 2.
- Gallipolitti V., Corace P., Aeberhardt J. y García E.(2012). Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Gider Grupo de Investigación en Energías Renovables.
- Gamarra, I. (2010). *Fabricación y evaluación de eficiencia y emisiones de briquetas a base de residuos*. Zamorano - Honduras.
- Global Alliance. (2014). Prueba de ebullición de agua (WBT versión 4.2.3).
- Guevara R. y López C.(2012). *Evaluación de briquetas de carbón de la provincia del Santa para su uso industrial*. Nuevo Chimbote, Lima.

- Gutierrez Y. y Carcache E. (2015). *Elaboración de combustible Ecológico, Eficiente y amigable con el medio ambiente a partir de residuos de la madera y pulpa de papel reciclado, provenientes del programa institucional de la madera*. Managua.
- Guzmán O., Ambrosio Z. y Toledo G.(2016). Energías sustentables, la biomasa. *ACMOR*.
- Herguedas A. (2012). Biocombustibles. *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*, 13.
- ICONTEC. (2003). Norma técnica colombiana NTC 2060. *Briquetas Combustibles para Uso doméstico*, 2.
- Indecopi. (29 de enero de 2015). Indecopi entregó denominación de origen aceituna de tacna. *Gestión*.
- Instituto para la diversificación y ahorro de energía. (2006). Eficiencia energética y energía renovables. *IDAE*.
- López J.,Cajina C., Ramírez J., Reyes E., Olivas N. yMolina L..(2015). *Evaluación de los parámetros físicos y químicos de las briquetas obtenidas con la maquina briquetadora construida en faremestelí*. Revista científica de farem-estelí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano. N° 16 .
- Lucas A. y Taranco C. (2012). Materias primas. *Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad*, 45.
- Martínez, A.(2015). *Determinación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, desechos sólidos, vacasa y tetrabrik, utilizando almidón y cal como aglutinantes*. Guatemala.
- Molina J., Jimenez B., Ruiz F., García F., Salmerón E. (s.f.). Agronomía y poda del olivar. *Instituto de investigación y formación agraria y pesquera*, 35.

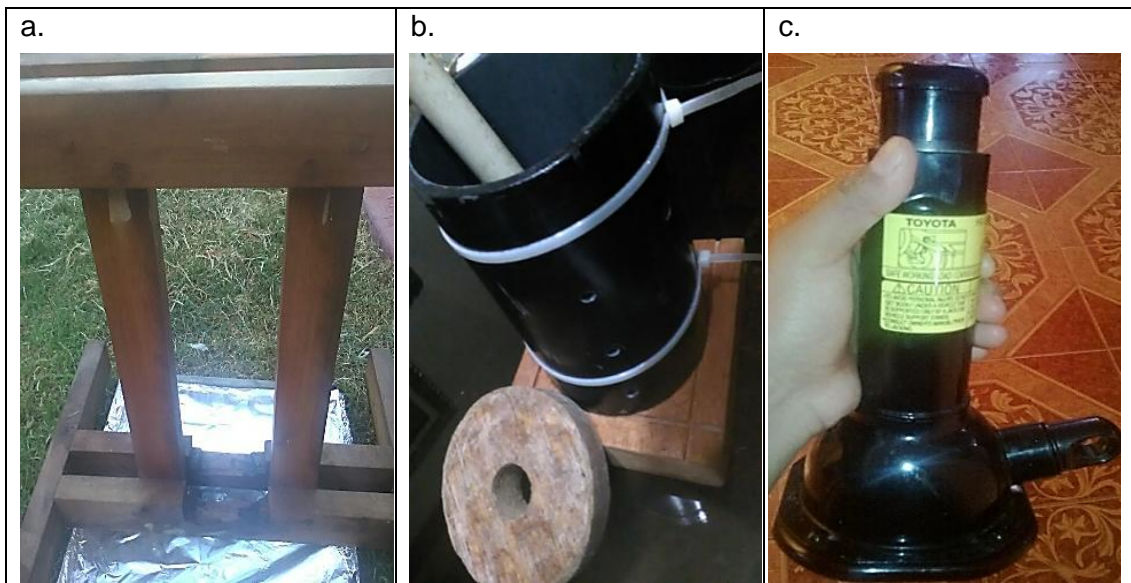
- Nikzade V., Tehrani M. y Saadatmand T. (2012) *Optimization of lowcholesterol low-fat mayonnaise formulation: effect of using soymilk and some* . Mashhad.
- Organización de las Naciones Unidas(FAO). (2014). Residuos agrícolas y ganaderos. *Bioenergía y seguridad alimentaria y evaluación rápida*.
- Ren 21 renewable Energy Pollicy Network. (2016). Perspectiva mundial. Energías renovables reporte de la situación mundial.
- RENOVETEC (2010). Biomasa. *Centrales termoelectricas de biomasa* .
- RPP. (2014). Perú se convierte en el primer productor de aceite de oliva de América. RPP Noticias.
- Salamanca G., Reyes L., Osorio M., Rodríguez N. (2015). *Diseño experimental de mezclas como herramienta para la optimización de cremolácteos de mango*. Tolima.
- Tierra L. y Fonseca E. (2012). *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*. Riobamba – Ecuador.
- Ulloa A. y Gutierrez E. (2015). *Reducción de tamaño , elaboracion de pinole*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de estudios Superiores Cuautitlán.
- Universidad Autónoma Nuevo León. (2015). Briquetas. *Biocombustibles sólidos* , 143.
- Valderrama A., Curo H. , Quispe C., Llanto V. y Gallo J. (2007). Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calorífica en cocinas no convencionales. *Revista UNMSM*.
- Vicente, J. (2017). *Estudio de la influencia del porcentaje de arcilla en la calidad de las briquetas de hojas de caña de azúcar mediante ensayos físicos y térmicos* . Lima,Perú.



## Anexo1. Matriz de consistencia

Interrogante del problema	Objetivo General	Hipótesis	Variables	Indicadores	Dimensiones	Métodos
¿Es posible obtener briquetas a partir de residuos de Poda del olivo y Orujo de aceituna como fuente de energía alternativa?	Evaluar briquetas obtenidas a partir de residuos de poda del olivo y orujo de aceituna como fuente de energía alternativa.	Las briquetas obtenidas a partir de residuos de Poda del olivo y Orujo de aceituna tienen un alto poder calorífico.	Variable Independiente: Briquetas T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7  Variable Dependiente: Índice de Friabilidad	<b>Índice de friabilidad:</b> <b>FR = NF/NI</b> Donde: NF: Número de briquetas al final del ensayo (enteras y fraccionadas). NI: Número de briquetas al inicio del ensayo.	1	Golpe contra el suelo. NTC2060 "Briquetas combustibles para uso doméstico"
			Variable Independiente: Briquetas T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7  Variable Dependiente: Poder Calorífico	<b>Poder calorífico</b> <b>82Cf + AV Kcal/kg donde A = V / (V + C)</b> Donde, Cf : % carbono fijo ,V% de materia volátil , A es coeficiente  Análisis Inmediato a. Carbono Fijo% = $100 - (H + C + MV)$ Donde: contenido de humedad (%), MV: contenido de materia volátil (%), C: contenido de cenizas (%) b. Material Volátil = $\frac{(Pi - Pf)}{Pf} (100 - H)$ donde, Pi: peso inicial de la muestra de carbón ,Pf: peso final de la muestra ; H : contenido de humedad(% ) c. Cenizas % = $\frac{(Pf)}{Pi} \times 100$ Pi donde, Pf: peso de las cenizas blancas, Pi peso húmedo o acondicionado de la muestra. d. Humedad % = $\frac{(Pi - Pf)}{Pi} \times 100$ Pi donde, Pi: peso inicial (gr.) ,Pf peso seco en estufa(gr)	3000kcal/kg - 5000 kcal/kg.	Poder Calorífico: Método de Gouthal a partir de los análisis inmediatos Instituto del carbón Corrales (1953) <u>Análisis Inmediato:</u> a. Humedad: Norma ASTM D - 1762 b. Cenizas: Norma ASTM D -1762 c. Material Volátil: Norma ASTM D1762 d. Carbono Fijo: Norma ASTM D 3172
			Variable Independiente: Briquetas T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7  Variable Dependiente: - Eficiencia del combustible - Tiempo de ebullición - Velocidad de combustión - Consumo específico de combustible	Tiempo de ebullición (minutos) $TE = Tf - T$ TE = el tiempo de ebullición, Ti = tiempo inicial de la prueba con estufa fría (min), Tf = tiempo final cuando el agua inicia su punto de ebullición (min)  Consumo Específico del combustible (gramos/litro) $CE = Pf - Pi$ CE = Consumo específico del combustible (g), Pi = Peso de las briquetas antes de iniciar la prueba (g) Pf= Peso final del residuo obtenido (g)  Velocidad de combustión (gramos/minutos) $Vc = Ce / Te$ Vc = velocidad de combustión (g/min), Ce= consumo específico del combustible (g/l) , Te= tiempo de ebullición (min)	TE < 30 a 45 min CE < 143 g/L Vc < 12 g/min	Pruebas de combustión por medio de la Prueba de ebullición de agua (WBT)

Nota: Matriz de consistencia de la Investigación. Se tiene T1 – T7 tratamientos obtenidos del diseño de mezclas de tres componentes; orujo; poda; aglutinante.



*Anexo2: Briqueteadora Artesanal.* Consta de tres partes a. estructura base de madera de 60 cm de altura (1), b. moldes de cloruro de polivinilo (PVC) de 15 cm de altura con 11 cm de diámetro (2) c. gata hidráulica (3)



*Anexo 3: Secado de Briquetas.* Se utilizó bandejas de acero inoxidable forradas con papel aluminio sobre una superficie expuesta directamente al sol.



*Anexo 4: Briquetas elaboradas a partir de residuos de poda de olivo y orujo de aceituna.*

**NORMA TÉCNICA  
COLOMBIANA****NTC  
2060**1987-11-04

---

**BRIQUETAS COMBUSTIBLES PARA USO DOMÉSTICO**E: FUEL BRIQUETES FOR HOUSEHOLS 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

1987-11-04

---

**BRIQUETAS COMBUSTIBLES PARA USO DOMÉSTICO**



E: FUEL BRIQUETES FOR HOUSEHOLS 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.

**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**

<b>Propiedad</b>	<b>Tipo 1</b>	<b>Tipo 2</b>
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 (Rm) corresponderá de acuerdo con la masa de la briqueta, a los valores indicados en la Tabla 2.



**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 negrozco 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.

**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).

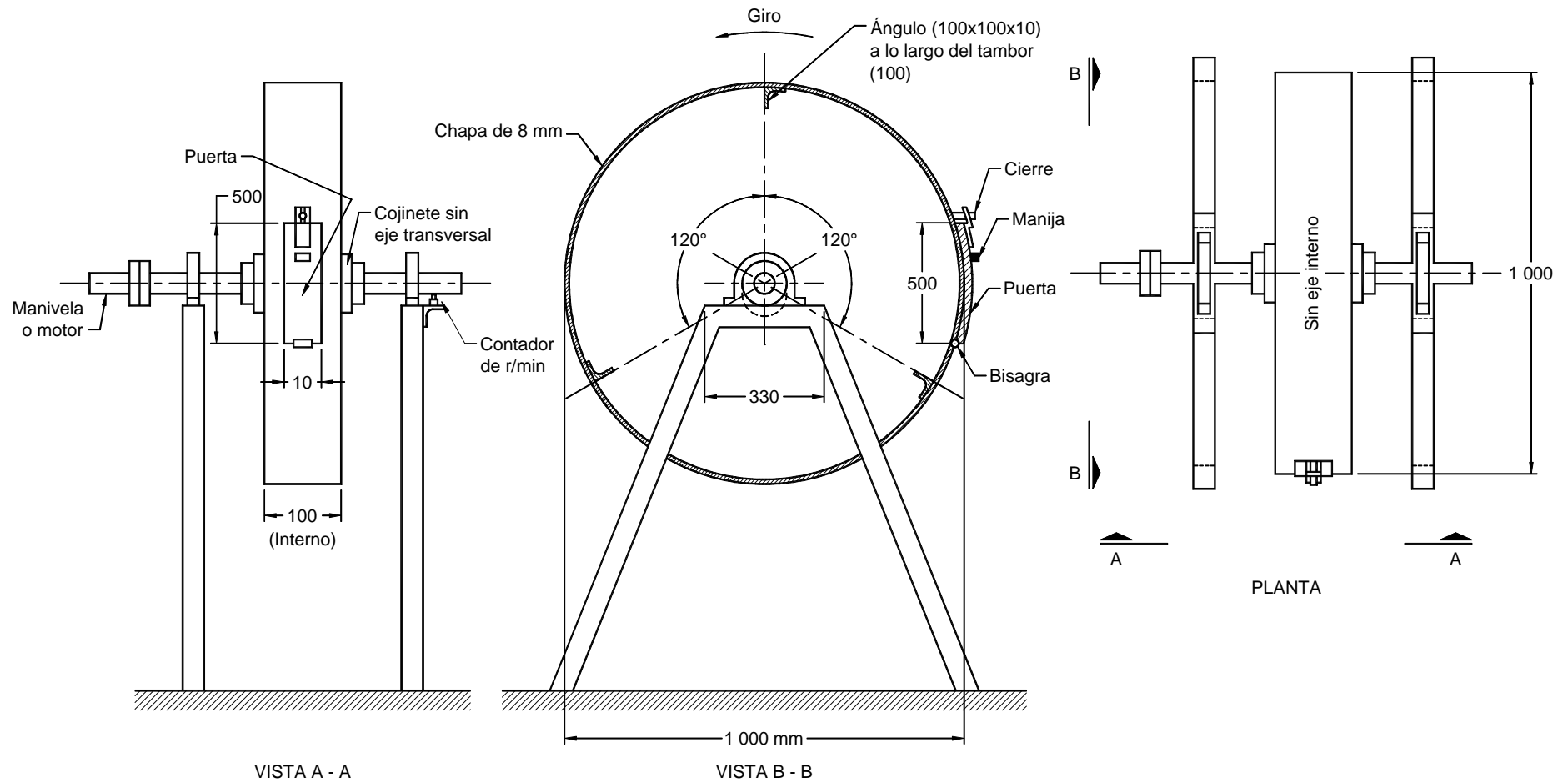
**7.2.5** La siguiente leyenda en letra clara y legible: "Estas briquetas solo se pueden emplear en cocinas o fogones provistos de chimenea al exterior y en lugares convenientemente ventilados. La chimenea debe someterse a limpieza periódica para evitar taponamiento".

**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.



Dimensiones en milímetros

Nota. Puerta con empaque de caucho para impedir pérdida de finos de cartón

Figura 1. Medida de la resistencia a la abrasión y al impacto

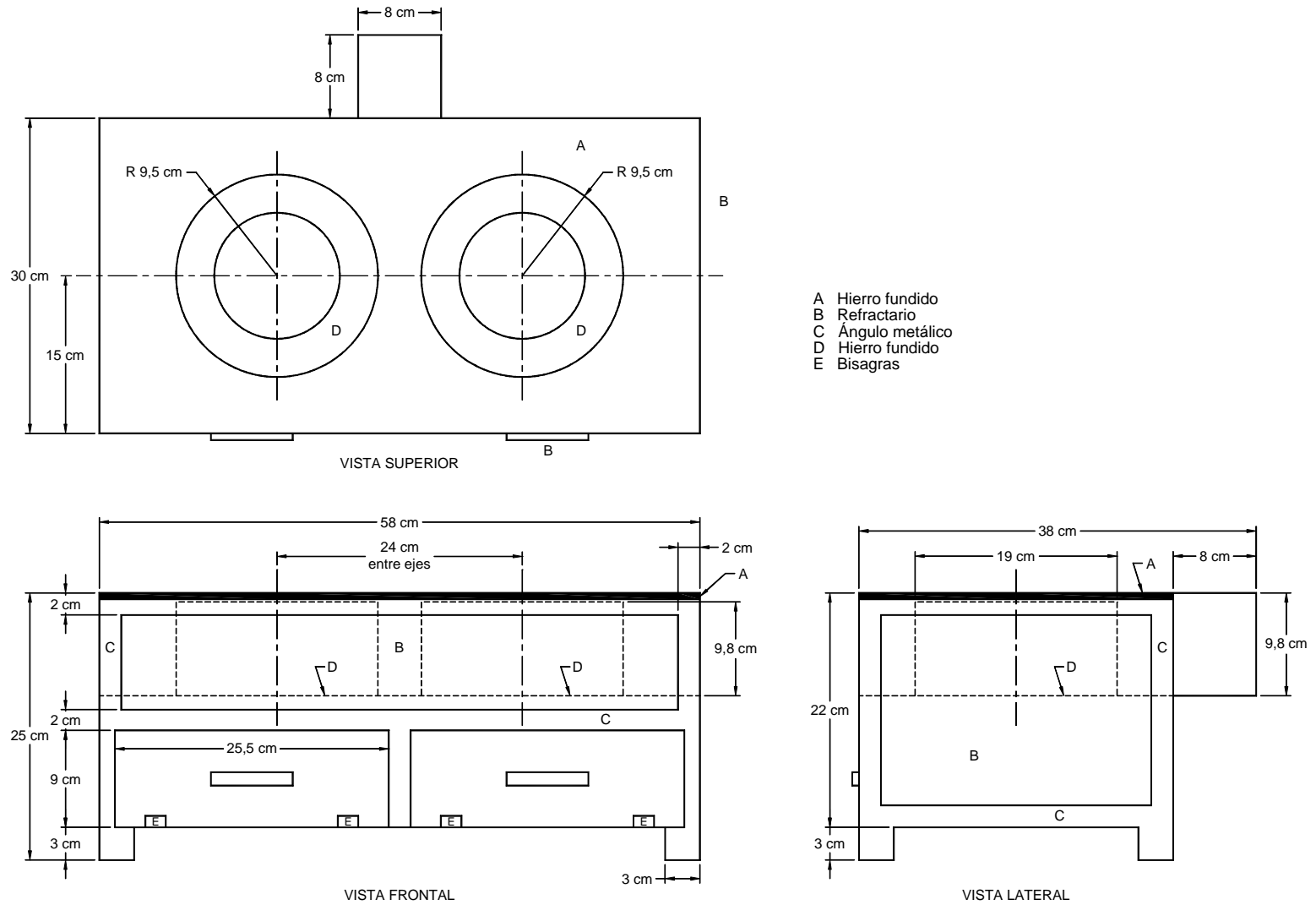


Figura 2. Diagrama de la estufa

**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**

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
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.