

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



TESIS

**“EFECTOS DEL PRETRATAMIENTO DE BIOMASA SOBRE
PODER CALORÍFICO Y NIVEL DE EMISIONES DE BRIQUETAS
DE RESIDUOS DEL OLIVAR Y ORÉGANO”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PRESENTADO POR:

Bach. ROBERTO SIMEONE FALCÓN PEÑA

Bach. ANDREA DEL ROSARIO VELARDE FRANCO

TACNA – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TESIS

**“EFECTOS DEL PRETRATAMIENTO DE BIOMASA SOBRE
PODER CALORÍFICO Y NIVEL DE EMISIONES DE BRIQUETAS
DE RESIDUOS DEL OLIVAR Y ORÉGANO”**

Tesis sustentada y aprobada el 07 de diciembre del 2022; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtra. Martha Daniela Rubira Otárola

SECRETARIO : Msc. Marilú Hilda Manchego Colque

VOCAL : Mtra. Anabel Del Rosario Crisosto Fuster

ASESOR : Dr. Raul Cartagena Cutipa

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Roberto Simeone Falcón Peña y Andrea del Rosario Velarde Franco en calidad de bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 73144457 y 73099864 declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis: *Efectos del pretratamiento de biomasa sobre poder calorífico y nivel de emisiones de briquetas de residuos del olivar y orégano*, la misma que presentamos para optar el *Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial*.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, respetando 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 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/trabajo de investigación, así como por los derechos sobre la obra.

En consecuencia, nos hacemos responsables, 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.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la obra haya sido publicada anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 9 de noviembre de 2022



Roberto Simeone Falcón Peña
73144457

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Roberto Simeone Falcón Peña y Andrea del Rosario Velarde Franco en calidad de bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 73144457 y 73099864 declaramos bajo juramento que:

6. Somos autores de la tesis: *Efectos del pretratamiento de biomasa sobre poder calorífico y nivel de emisiones de briquetas de residuos del olivar y orégano*, la misma que presentamos para optar el *Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial*.
7. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, respetando las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
8. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
9. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico o título profesional.
10. 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/trabajo de investigación, así como por los derechos sobre la obra.

En consecuencia, nos hacemos responsables, 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.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la obra haya sido publicada anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 9 de noviembre de 2022



Andrea del Rosario Velarde Franco
73099864

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por acompañarme en cada paso que doy, a mis padres Robert Falcón Guerrero y Micaela Peña Cuellar por su apoyo y amor incondicional, a mi abuelo Efraín Peña Gonzales que me guía desde el cielo, a mis familiares y amistades más cercanas por darme alegría y fortaleza para seguir creciendo profesionalmente.

Roberto Simeone Falcón Peña

DEDICATORIA

A Dios por dame la vida y por acompañarme en cada paso a realizar mis metas, a mi madre Nelly por enseñarme con el ejemplo la resiliencia, por ser mi fortaleza y mi ejemplo a seguir; a mi padre Carlos de quién su sueño siempre fue verme profesional; se lo dedico a todas las personas que me han acompañado a realizar este gran logro.

Andrea del Rosario Velarde Franco

AGRADECIMIENTO

Nos gustaría expresar el más afectuoso y profundo agradecimiento a Dios por darnos la vida, a nuestras familias por su apoyo y motivación. A nuestros docentes por las enseñanzas impartidas durante muchos años, y especialmente al Dr. Raúl Cartagena Cutipa por ser una guía durante el desarrollo de esta tesis.

Roberto Simeone Falcón Peña

Andrea del Rosario Velarde Franco

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema general.....	4
1.2.2. Problemas específicos	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
1.5.1. Hipótesis general	5
1.5.2. Hipótesis específicas.....	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Bases teóricas.....	10
2.2.1. Briqueta	10
2.2.2. La biomasa como fuente energética.....	10
2.2.3. Residuos de la industria del olivar.....	11
2.2.4. Residuos de la industria del orégano.....	12
2.2.5. Comportamiento térmico de la biomasa.....	12
2.2.6. Emisiones asociadas a la biomasa de olivar y del orégano.....	13

2.2.7. Briquetas como fuente energética.....	13
2.2.8. Eficiencia de combustión.....	14
2.2.9. Tipos de Briquetas.....	14
2.2.9.1. Fabricación artesanal.....	14
2.2.9.2. Fabricación industrial.....	15
2.2.10. Especificaciones de las briquetas.....	15
2.2.11. Ensayo para caracterización de briquetas.....	16
2.2.12. Proceso de fabricación de briquetas.....	16
2.3. Definición de términos.....	17
2.3.1. Briqueta	17
2.3.2. Resistencia a la compresión.....	18
2.3.3. Poder Calorífico.....	18
2.3.4. Combustión.....	18
2.3.5. Contenido de humedad.....	18
2.3.6. Biomasa.....	18
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	19
3.1. Diseño de la investigación.....	19
3.2. Acciones y actividades.....	19
3.2.1. Obtención de briquetas.....	19
3.2.2. Determinación de tamaño de partícula y el tiempo de lavado.....	23
3.2.2.1. Partículas de residuo de olivar y orégano	23
3.2.2.2. Lavado de partículas de residuos del olivar.....	24
3.2.3. Determinación del poder calorífico.....	24
3.2.4. Nivel de gases de combustión	26
3.2.5. Características físicas de las briquetas.....	26
3.2.6. Evaluación sensorial.....	27
3.3. Materiales y/o instrumentos.....	28
3.4. Muestra de estudio.....	28
3.5. Operacionalización de variables.....	28
3.6. Procesamiento y análisis de datos.....	30
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	31
4.1. Características de las briquetas según su fórmula.....	31
4.1.1. Prueba de resistencia a la compresión de briquetas.....	31
4.1.1.1. Prueba para briquetas de residuos de olivar.....	31
4.1.1.2. Prueba para briquetas de residuos del orégano.....	34

4.2.	Poder calorífico	36
4.2.1.	Poder calorífico de briquetas de residuos del olivar.....	36
4.2.2.	Poder calorífico de briquetas de residuos de orégano.....	41
4.3.	Niveles de gases de combustión.....	41
4.3.1.	Nivel de gas de CO ₂	41
4.4.	Evaluación de la influencia aromatizante en alimentos.....	43
4.4.1.	Efectos sensoriales de las briquetas sobre muestras de carne.....	43
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....		46
CONCLUSIONES.....		50
RECOMENDACIONES.		52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		54
ANEXOS		58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de residuos sólidos del olivar.....	12
Tabla 2. Requisitos para elaborar briquetas por tamaño según la norma DIN51731... 16	16
Tabla 3. Diseño de mezclas para elaborar briquetas de residuos de la industria olivar.....	21
Tabla 4. Diseño de mezclas para elaborar briquetas de residuos del orégano.....	22
Tabla 5. Operacionalización de variables de investigación.....	29
Tabla 6. Formulación de las mezclas en función del diseño estadístico.....	30
Tabla 7. Resistencia a la compresión según tratamientos para briquetas de residuos de olivar.....	32
Tabla 8. ANOVA para Resistencia a la compresión de briquetas con orujo lavado.....	32
Tabla 9. ANOVA para Resistencia a la compresión de briquetas con orujo sin lavar... 33	33
Tabla 10. Valores optimizados de mezcla para Briquetas.....	33
Tabla 11. Resistencia a la compresión según tratamientos para briquetas de orégano.....	35
Tabla 12. Tabla ANOVA para comparación de resistencia a la compresión en briquetas de orégano.....	35
Tabla 13. Pruebas de Múltiple Rangos para resistencia a la compresión de briquetas de residuos de orégano.....	36
Tabla 14. Poder calorífico en briquetas de residuos del olivar que contienen orujo lavado y sin lavar.....	37
Tabla 15. ANOVA para Poder calorífico de briquetas de residuos de olivar con Orujo lavado.....	37
Tabla 16. Maximización del Poder calorífico de olivar con orujo sin lavado.....	38
Tabla 17. ANOVA para Poder calorífico.....	39
Tabla 18. Maximización del Poder calorífico de briquetas de olivar con orujo lavado... 39	39
Tabla 19. Poder calorífico de residuos de orégano.....	41
Tabla 20. Mediciones de CO ₂ en briquetas residuos de olivar y de orégano.....	42
Tabla 21. Características físicas de las briquetas comparadas con la NTC - 2060.....	43

Tabla 22. Puntajes otorgados por los consumidores a muestras evaluadas.....	44
Tabla 23. Prueba de Friedman de aceptación sensorial de briquetas.....	44
Tabla 24. Comparaciones múltiples y diferencias críticas absolutas.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de elaboración de briquetas.....	17
Figura 2. Diagrama de flujo de elaboración de briquetas.....	20
Figura 3. Gráfica de traza para resistencia a la compresión.....	34
Figura 4. Gráfico de traza para poder calorífico en Briquetas de residuos de olivar con orujo sin lavar.....	38
Figura 5. Gráfico de traza para poder calorífico en briquetas de residuos de olivar con orujo lavado.....	40
Figura 6. Gráfica de caja y bigotes de comparación de briquetas de residuos de olivar lavado y sin lavar.....	40
Figura 7. Emisiones de CO ₂ en briquetas de residuos de olivar.....	42
Figura 8. Emisiones de CO ₂ en briquetas de residuo de orégano.....	43

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.....	59
Anexo 2: Tabla de análisis sensorial	61
Anexo 3: Briqueteadora de acero.....	62
Anexo 4: Briquetas compactadas.....	62
Anexo 5: Análisis de ceniza.....	62
Anexo 6: Análisis de humedad.....	63
Anexo 7: Máquina de compresión	63
Anexo 8: Briquetas como fuente calorífica de cocción.....	63
Anexo 9: Evaluación sensorial.....	64
Anexo 10: Sensor de medición CO ₂	64
Anexo 11: Costo de Producción y rentabilidad.....	65
Anexo 12: Análisis Físicoquímicos.....	66

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar qué efectos tiene el pretratamiento de residuos de biomasa del olivar y orégano, sobre el poder calorífico y niveles de emisiones de briquetas como fuente de energía renovable de dos industrias diferentes desarrolladas en la ciudad de Tacna; además de evaluar las características físicas y la influencia de sabor en la cocción de muestras de carne de bovino mediante una prueba de ordenamiento; se elaboraron briquetas compactadas a base residuos de poda, orujo, hueso de aceituna y aglomerante para las briquetas de residuos de la industria del olivar, y por parte de los residuos de la industria oreganera también se elaboraron briquetas de tallos de orégano y aglutinante. Se realizó el proceso con una briqueteadora de acero, que emite presión a través de un manómetro acoplado a una gata hidráulica. La proporción más adecuada para la obtención de briquetas de olivo está compuesta de 5 % de hueso de aceituna, 5 % de orujo, 70 % de poda y 5 % de aglutinante, con esta formulación se obtiene un valor máximo de 6202,63 kcal/kg, por otra parte, el poder calorífico de las briquetas de orégano con el mejor valor fue 1823,41 kcal/kg. El nivel de CO₂ de las briquetas obtenidas a partir de residuos del olivar resultó con un valor de 1431,51 ppm, las briquetas de orégano presentaron menor nivel de emisiones con un valor de 1075,77 ppm. Las características físicas de las briquetas en función del nivel de compresión, resultaron en un máximo de $75 \pm 3,54$ bar cuando se emplea orujo sin lavado y un máximo de $73 \pm 2,89$ bar en briquetas formuladas con orujo lavado, estos dos tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas (p-valor = 0,0542), por su parte las briquetas de orégano fueron más frágiles al presentar un valor máximo de $31 \pm 1,15$ bar. Las muestras de carne cocidas con briquetas de orégano tuvieron las mejores puntuaciones en una prueba de preferencia por ordenamiento sensorial, sin encontrar diferencias significativas (Sig. = 0,97).

Palabras clave: Biomasa, briquetas, poder calorífico (Material Lignocelulósico), niveles de emission (Dióxido de carbono).

ABSTRACT

With the objective of evaluating what effects the pretreatment of biomass residues from olive groves and oregano has on the calorific value and emission levels of briquettes as a source of renewable energy of two different industries developed in Tacna; including evaluation of the physical characteristics and the influence of flavor in the cooking of bovine meat samples through an ordering test; Compacted briquettes were made from pruning waste, olive pomace, olive stone and binder for the waste briquettes from the olive industry, and briquettes of oregano stems and binder were also made from the waste from the oregano industry. The process was carried out with a steel briquette machine, which emits pressure through a manometer coupled to a hydraulic jack. The most suitable proportion for obtaining olive briquettes is composed of 5% olive stone, 5% olive pomace, 70% pruning and 5% binder, with this formulation a maximum value of 6202.63 kcal/ kg, on the other hand, the calorific value of the oregano briquettes with the best value was 1823.41 kcal/kg. The CO₂ level of the briquettes obtained from olive grove residues resulted in a value of 1431.51 ppm, the oregano briquettes presented a lower level of emissions with a value of 1075.77 ppm. The physical characteristics of the briquettes according to of the compression level, resulted in a maximum of 75 ± 3.54 bar when pomace without washing is used and a maximum of 73 ± 2.89 bar in briquettes formulated with washed pomace, these two treatments presented statistically significant differences (p -value = 0.0542), on the other hand, the organ briquettes were more fragile, presenting a maximum value of 31 ± 1.15 bar. Meat samples cooked with oregano briquettes had the best scores in a preference test for sensory ordering, with no significant differences (Sig. = 0.97).

Keywords: Biomass, briquettes, calorific value (Lignocellulosic Material), emission levels (Carbon Dioxide).

INTRODUCCIÓN

Actualmente la búsqueda de fuentes energéticas para el desarrollo de las actividades humanas se ha convertido en una de las principales problemáticas frente a la explotación de recursos naturales, generación de importantes cantidades de residuos en las diferentes industrias, ya sea forestal, agrícola o agroalimentaria. Por ello el uso de biocombustibles se ha convertido en una alternativa para el ser humano.

El presente trabajo de investigación trata sobre la elaboración y estudio de las características propias de briquetas como fuente energética, en dos diferentes tipos de briquetas, una a base de residuos sólidos de la industria del olivar y otra de la industria del orégano; actividades fuertemente trabajadas en la ciudad de Tacna.

Estas industrias son una gran fuente económica para la ciudad, sin embargo el manejo de los cultivos como lo son las podas periódicas a los olivos generan desechos los cuales son eliminados quemándose en los campos, generando contaminación a gran escala; otro factor es la transformación de la materia prima como la obtención del aceite de oliva, estas generan cantidades industriales de orujo, el cual es usado en poca medida como alimentación de ganado, sin embargo no se aprovechan como fuente para otras actividades. Otra de las industrias más realizadas en la ciudad es el procesamiento del orégano, ya que comercialmente se vende solo la hoja seca sin presencia de tallos, desaprovechando el material leñoso que comúnmente se quema o descarta.

Al ser estas industrias de las más realizadas en la ciudad, se indaga y efectúa una solución, elaborando un diseño de mezclas para estas briquetas de residuos agroindustriales que se generan en la zona. Estos biocombustibles poseen ventajas ambientales, energéticas y económicas, ya que poseen una alta capacidad calorífica la cual buscamos utilizar para proporcionar energía. Asimismo, su uso brinda una alternativa frente ante el consumo de leña o carbón vegetal para cocinar, ya que al quemarse durante largas horas llenan sus casas de estos gases nocivos para la salud, produciendo a largo plazo enfermedades respiratorias y también afectando su piel.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La dependencia energética de la sociedad hacia los combustibles fósiles, que por su carácter limitado en cantidad y contaminante por sus características de composición y uso, hacen indispensable la búsqueda de fuentes de energía alternativa con carácter ecoeficiente, por otro lado no menos importante es el uso biomasa para la generación de energía o la eliminación de la misma por la quema en la mayoría de casos; ambas formas de generación de energía provoca la emisión de a la atmósfera de dióxido de carbono, dióxido de silicio, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono entre otros que afectan a la capa de ozono e incrementan el efecto invernadero y como consecuencia el calentamiento global.

Esta realidad ha inducido a la sociedad a buscar fuentes de energías alternativas y menos contaminantes como la energía solar, la energía eólica, energía geotérmica, energía mareomotriz y energía obtenida de la biomasa.

Respecto al aprovechamiento de la biomasa como fuente energética se emplea todo tipo de residuos combustibles, especialmente los provenientes de las actividades agrícolas, forestales y agroindustriales; según Nogales (2016) entre el 8% y 14 % del consumo energético mundial proviene de la biomasa, siendo más notable en países en desarrollo donde el 80 % proviene de esas fuentes.

No obstante, la biomasa es menos contaminante que otro tipo de fuentes energéticas, podría liberar algunos contaminantes en estado líquido, sólido o gaseoso, tales como el CO, CO₂, NO₂ y el SO₂, por ello las características de las emisiones tiene relación directa con la biomasa utilizada y la forma de combustión.

La biomasa que se genera de la actividad agroindustrial de olivo y orégano, es muy significativa en la región Tacna, ya que al ser los mayores productores de este producto en el país, también como contraparte se produce gran cantidad de residuos en la fase agrícola y en la transformación de la aceituna; es importante el volumen de podas de las plantas que se generan cada año, siendo estas usadas como fuente energética por los productores que trae consecuencias negativas a

la salud y al medioambiente por ser un proceso térmico ineficiente en cuanto a la combustión y la pirolisis.

Por otro lado, en la transformación del fruto proveniente del olivo, que es transformada como aceituna de mesa o aceite de oliva, también se genera una importante cantidad de residuos, se conoce que más del 5 % de la producción peruana de aceituna se destina a la producción de aceite, generando un volumen considerable de orujo que no es aprovechado convenientemente al ser eliminado en parte al medio ambiente generando contaminación, no obstante en otros países es empleado como como fuente de energía limpia. Por otra parte, existe generación de residuos que provienen del proceso de orégano, tales como tallos y polvillos de composición celulósica con un componente importante de resinas volátiles (aceite esencial) que no es aprovechado adecuadamente.

En ambos casos, los residuos de ambas actividades, es posible aprovecharla como fuente de energía, pero para hacerla más eficiente existen procedimientos para transformarlas como conglomerados; tales como las llamadas briquetas que son bloques sólidos tipo pellets usadas como biocombustible. No obstante, al no tener sus componentes una adecuada granulometría, densidad, humedad entre otros, pueden causar una combustión inadecuada, siendo la eficiencia energética inadecuada y además generar gases combustión contaminante.

Por ello se plantea como investigación formular una briqueta a partir de los residuos de la actividad olivícola, tales como podas y orujos, además de briquetas a partir de residuos de la actividad oreganera, determinando los parámetros de elaboración y la eficiencia energética y gases de combustión.

1.2. Formulación del problema

Al identificar la problemática se plantea la siguiente línea de investigación:

1.2.1. Problema general

¿Qué efectos tiene el pretratamiento de residuos de biomasa derivados del olivar y orégano, sobre el poder calorífico y nivel de emisiones de briquetas como fuente de energía renovable?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la proporción de residuos más adecuada para la obtención de briquetas de olivo y orégano?
- b. ¿Cuál es el poder calorífico de las briquetas obtenidas a partir de residuos del olivar y orégano?
- c. ¿Cuál es el nivel de emisión de CO₂ de las briquetas obtenidas a partir de residuos de la industria del olivar y del orégano?
- d. ¿Cuáles son las características físicas de las briquetas obtenidas?
- e. ¿Qué efectos sensoriales tienen las briquetas de residuo de orégano en la cocción de muestras de carne?

1.3 Justificación e Importancia

El aprovechamiento energético de la biomasa representada por los residuos del olivo y el orujo de la aceituna en forma de briquetas, puede reducir el uso directo de dichos residuos que generan gases contaminantes y mejorar la eficiencia energética de las mismas.

En el aspecto socioeconómico, la investigación podría contribuir a generar una actividad económica paralela a la actividad olivícola, ya que los productores podrían aprovechar los desechos para obtener un producto menos contaminante y con mejor eficiencia energética, así mismo se podría mejorar las zonas de acumulación de estos desechos al evitar la propagación de plagas e incendios, además de la contaminación de algunos aspectos ambientales como suelos.

En el aspecto ambiental se vería favorecido al usar los residuos que en la mayoría de los casos tiene efectos sobre el medio ambiente causando contaminación, ya sea por la quema o por su disposición en final en el caso de los orujos, por ello la obtención de briquetas como energía barata y con menores emisiones.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar los efectos del pretratamiento de residuos de biomasa sobre el poder calorífico y nivel de emisiones de briquetas a partir de residuos del olivar y orégano.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Formular la proporción de residuos de olivo y orégano más adecuada para la obtención de briquetas.
- b. Analizar el poder calorífico de las briquetas obtenidas a partir de residuos del olivar y briquetas a partir de residuos de orégano.
- c. Determinar el nivel de emisión de CO₂ de las briquetas obtenidas a partir de residuos del olivar y residuos de orégano.
- d. Establecer las características físicas de las briquetas obtenidas.
- e. Evaluar el efecto sensorial que aportan las briquetas de orégano en la cocción de las muestras de carne.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

El pretratamiento de residuos de biomasa derivados del olivar influye significativamente sobre el aumento del poder calorífico y disminución del nivel de gases de combustión/emisiones de briquetas.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. Existe una proporción idónea de residuos de olivar y residuos de orégano que permite obtener briquetas con características adecuadas.
- b. El poder calorífico de las briquetas a partir de olivar y briquetas de residuos de orégano cumple los criterios de normativa NTC 2060.
- c. La emisión de gas CO₂ de las briquetas varían en función de su composición.
- d. Las características físicas de las briquetas cumplen los criterios de normativa NTC 2060.

- e. Las briquetas de residuo de orégano aportan un efecto sensorial en comparación con el carbón natural.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

El marco teórico de la tesis que permite fundamentar la investigación teniendo en cuenta las posturas teóricas y antecedentes sobre el tema de investigación son las siguientes:

2.1. Antecedentes de la investigación

Los estudios previos que se han realizado sobre la obtención de briquetas corresponden a la investigación de las propiedades físicas principalmente, por tanto, se ha coleccionado aquellos que son más afines a los objetivos de la investigación.

En primer lugar, podemos destacar a la investigación realizada por Cunurana (2018) quién realizó una investigación con la finalidad de aprovechar los residuos de la industria olivarera, evaluó briquetas a partir de residuos de poda del olivo y orujo de aceituna que fueron aglutinados con almidón. Para su obtención se realizó la molienda de la biomasa, se mezclaron los componentes y adicionó el aglutinante; a continuación, se moldeó usando una briqueteadora, obteniéndose muestras con 5 cm de altura y 10 cm de diámetro. Se empleó 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, poder calorífico, tiempo de ebullición, velocidad de combustión, consumo específico del combustible, con un total de siete experimentos. Los resultados indican que las variables experimentadas tienen efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el índice de friabilidad y el poder calorífico, 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 poder calorífico alto.

En esa misma línea Rivera (2018) determinó la viabilidad del carozo de aceituna como biocombustible sólido, desarrollando un diseño experimental completamente al azar (DCA) con dos variables independientes que tenía tres niveles con dos repeticiones: Tiempo (7, 15 y 30 días) y longitud de partícula del carozo (0.5, 1.0 y 2.0 cm) y como variable dependiente el rendimiento energético. El carozo de aceituna presentó en promedio 82.1% de carbohidratos, 2.3% de ceniza, 45.4% de fibra, 0.6% de cloruros, 9.07% de humedad, 1.7% de proteínas,

0.03% de sulfatos y 4.8% de grasa. Por otro lado, se determinó que no existe interacción conjunta de tiempo de secado y longitud sobre el rendimiento energético ($P=0,166$). Sin embargo, de manera separada el tiempo ($p=0.012$) y la longitud de partícula (0,006) sí mostraron efectos sobre la eficiencia energética, además se determinó mediante la prueba de Fisher que al secar las partículas de 0.5 cm de longitud por 30 días se obtendrá mayor rendimiento energético del carozo de aceituna.

Respecto a la evaluación fisicoquímica de briquetas, destaca la investigación realizada por Pinchi (2018) al evaluar los gases en la combustión de cuatro tratamientos de briquetas elaboradas con aserrín de *calycophyllum spruceanum* (capirona), cascarilla de arroz y residuos orgánicos domésticos; su poder calorífico y sus propiedades físicas (resistencia, humedad, densidad) y químicas (cenizas). Para evaluar los gases de combustión se quemaron las briquetas y se usó el equipo Testo 340 para determinar la cantidad de gases en g/m³. Usando el análisis de varianza (ANVA), y la prueba de Tukey, determinó que la muestra testigo emitió menores cantidades de CO y SO₂, con 0,6 g/s y 0,012 g/s respectivamente, mientras que el tratamiento 2 emitió menores cantidades de NO₂ con 0,022 g/s. No hubo diferencias significativas en el poder de combustión. Los Tratamientos 1, 2 y 4 presentaron valores similares en contenido de humedad. El Testigo presentó menor contenido de cenizas con 0,6%. El Tratamiento 3 presentó mayor densidad aparente con 0,47 g/cm³. Los Tratamientos 1 y 3 presentaron valores similares pero superiores en resistencia a la compresión paralela. Todas las emisiones de CO, SO₂ y NO₂ no sobrepasaron los límites de exposición de las normas EPA, OSHA y ACGIH.

Del mismo modo Valiente (2017) evaluó la viabilidad ambiental en la producción de briquetas a partir de residuos de la industria procesadora de arroz para sustituir a la leña que comúnmente proviene de fuentes poco controladas; en su investigación utilizó mezclas de cascarilla de arroz y almidón de yuca en una proporción de 70 % y 30 % respectivamente, obteniendo briquetas de 14,11 MJ/Kg, cumpliendo la misma función que la leña convencional, además se destacó la gran diferencia en emisión de dióxido de carbono frente a la leña u otros combustibles provenientes de fuentes no renovables, en base a estos resultados concluyó que estas briquetas, son una viable alternativa para la sustitución de la leña en el municipio de El Progreso debido al gran abastecimiento de cascarilla de arroz.

Por otro lado, Mata (2015) realizó la optimización de metodologías para la caracterización de biocombustibles sólidos procedentes de la industria del olivar estableciendo que los parámetros de humedad, cloro y poder calorífico influyen sobre valorización energética del carozo de aceituna, también reportó que la limpieza y secado de los materiales mejoran significativamente en el aprovechamiento energético del residuo. Esta investigación fue tomada por la Asociación Española de Normalización y Certificación para formular la norma oficial sobre las especificaciones de calidad del hueso de aceituna como biocombustible sólido.

Por su parte López et al. (2015) con la finalidad de elaborar briquetas a partir de diferentes sustratos como; papel, aserrín, colcho, ramitas, granza y flor de pino, estudiaron el consumo específico y la velocidad de combustión por el método de ebullición del agua (WBT). Los resultados indican 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 colcho 25%, ramitas 10%, granza 8,4 %, flor de pino 6,6 %, consumiéndose 12 g/min transcurrido, siendo una alternativa para fuente energética alternativa.

A su vez Vera (2014) diseñó un prototipo de briqueta ecológica con biomasa vegetal deshidratada para generar energía calórica y mejorar el ecosistema en el municipio de Pueblo del Departamento del Cesar; utilizando para ello 3 diferentes proporciones de cascarilla de café, bagazo de caña y cisco de café con ayuda de un aglutinante natural de aserrín, las cuales se molieron para que la granulometría sea homogénea y se aplicó el aglomerante natural para obtener la masa consistente y pastosa, para luego compactar con ayuda de moldes de tubos de pvc, prensándose a mano con fuerza humana la cual es de 1.0 a 1.7 kPa. Según la prueba de campo se dedujo que la briqueta número 2 presentó mejor rendimiento en relación masa y tiempo de cocción en un litro de agua ya que en los 3 diferentes hogares de prueba, presentó tiempos de ebullición de agua entre 10 a 12 minutos, debiéndose dicha variación a condiciones de temperatura de cada fogón; y en cuanto a cenizas el material que emitieron fue inferior al 20 % de su masa, indicando que no se convirtió en material volátil que sea transportado por el aire, y en poder calorífico la briqueta número 2 presentó

mayor generación de energía térmica con 1.381,84 Cal/g respecto al árbol de Brasil, del diseño con respecto a las 3 formulaciones de briquetas, se estandarizó 2 tipos de briquetas ya que fueron superiores en energía calórica frente a la leña comúnmente utilizada en la zona.

Estudios similares fueron realizados por Tierra y Fonseca (2011) al elaborar briquetas a partir de dos residuos orgánicos como aserrín de madera y cascarilla de arroz, la metodología empleada para obtener las briquetas fue realizando pruebas de producción con diferentes porcentajes de biomasa y aglutinantes, también los resultados indican que a través del 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.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Briqueta

Martín (2014), indica que “Las briquetas son un combustible mayormente de origen lignocelulósico, formadas por la compactación de biomasa utilizada como materia prima astillas, residuos de madera y diferentes tipos de residuos”. El proceso de briqueteado consiste en obtener productos finales de mayor densidad a los productos iniciales, este proceso también es conocido como densificado. La importancia de realizar este proceso es que al momento de transportarlo ocupan menor volumen con el mismo peso, comparando con las leñas y astillas. (De Lucas et al, s.f.)

2.2.2. La biomasa como fuente energética

De acuerdo con Guzmán et al. (2016) la biomasa es aquella materia orgánica sea de origen vegetal o animal, incluyendo desechos orgánicos que se pueden aprovechar como fuente energética. Estos residuos pueden agruparse en residuos agrícolas y forestales; residuos animales, residuos agroindustriales y forestales y residuos urbanos (FAO, 2014)

En cuanto los tipos de biomasa puede ser natural o residual, en esa dirección Driss (2010), clasificando como residuos de agricultura, forestales y sus industrias. La biomasa natural se encuentra en la disponible en los ecosistemas, mientras que la biomasa residual pueden ser los residuos de actividades agrícolas como las podas del olivar; residuos de industrias agrícolas como el orujo, orujillo y hueso de aceituna, entre otros. Otra clasificación puede ser la biomasa energética que son cultivos que se producen con el fin de producción energética tales como: biocarburantes, energía térmica o eléctrica. Como biomasa lignocelulosa que es fuente energética se puede considerar al hueso de aceituna.

2.2.3. Residuos de la industria del olivar

Según la Junta de Andalucía (2010), los residuos sólidos como el orujo están compuesto por carozo, pulpa y tegumento de aceituna, contienen entre 25 a 40% de humedad y entre 3 a 7% de contenido graso. El hueso de aceituna fresco presenta alrededor de 18% de humedad y un poder calorífico promedio de 5 300 kcal/kg (Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia, 2000, p. 102). Mientras que el orujillo es el subproducto de la extracción del aceite de orujo, el cual presenta entre 9 a 12% de humedad y un poder calorífico de 4 100 kcal/kg.

Según Driss (2010) el hueso de aceituna, es un residuo generado en la producción de aceituna de mesa y la elaboración de aceite de oliva y presenta una composición aproximada de 24,8% de celulosa, 34,2% de hemicelulosa y 41% de lignina. Por otro lado, en cuanto las propiedades fisicoquímicas presentan en base seca, 15 % de humedad, 1 % de cenizas, 0,6 % de contenido graso, 0,03 % de azufre, 0,15 % de contenido de cloro y una vida útil de 50 años; Su porcentaje de aceite residual es de 0,1 a 0,6 %.

La comparación de la composición y características de los residuos sólidos del olivar se muestra en la tabla 1.

Tabla 1
Características de residuos sólidos del olivar

Compuesto	Poda del olivar	Orujo	Orujillo	Hueso
Análisis inmediato (% peso)				
Carbono	14,67	7,31	22,13	21,98
Volátiles	72,83	30,65	72,29	76,40
Cenizas	1,55	6,75	4,58	1,62
Humedad	10,95	55,29	12,69	13,12
Análisis elemental (% peso)				
Carbono	49,52	47,03	50,54	50,79
Hidrogeno	5,9	5,64	5,86	5,95
Nitrógeno	0,39	0,97	0,97	0,48
Azufre	<0,05	0,09	0,07	0,04
Oxígeno	44,19	49,27	42,56	42,74
Poder calorífico (Kcal/kg seco)				
Superior	4600	4500	4500	4800
Inferior	4300	4250	4300	4500

Nota. Adaptado de Driss (2010). Aprovechamiento del hueso de aceituna.

Por otro lado, el orujo es el residuo que proviene de la extracción de aceite de oliva a partir de la aceituna, por lo que por cada tonelada de aceituna procesada se obtiene 0,2 tn de aceite de oliva y 0,8 tn de orujo (Lucas y Taranco, 2015).

2.2.4. Residuos de la industria del orégano

En la cosecha del orégano se corta hasta el 75 % del arbusto, incluyendo solo el ramaje con hojas (SEMARMAT, 2009), pero solo se comercializa la hoja, que presenta un gran valor económico y de exportación en el país. De acuerdo a García y Ortega (2007), las hojas solo representan aproximadamente el 40 % de la planta por lo que tenemos a las ramas, tallos y palillos como residuos que se desechan continuamente como residuos vegetales. En el caso de la producción de aceite esencial de orégano por arrastre de vapor de agua, se generan más residuos de hojas conocidos como “bagazo”; de acuerdo a SEMARNAT (2001), estos residuos vegetales constituyen el 95 % en peso seco de su peso inicial. Debido a los datos anteriores el 98 % del material recolectado para la extracción es descartado por considerar que no tendrían ningún valor agregado ni uso.

2.2.5. Comportamiento térmico de la biomasa

El comportamiento térmico de la biomasa está en función directa de su composición la que está formada principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, no obstante, el comportamiento térmico no directamente proporcional al

efecto sumatorio de dichos compuestos, más bien porcentaje de compuestos lignocelulósicos tienen mayor influencia sobre las propiedades térmicas (Nogales, 2015)

El poder calorífico de la biomasa disminuirá cuanto mayor sea su contenido de humedad, puesto que un porcentaje del calor de combustión contribuye a la cantidad de agua que contengan las muestras, del mismo modo el poder calorífico de la biomasa depende de su composición química, mientras más abundante la cantidad de carbono y más bajo el porcentaje de oxígeno, mayor es el poder calorífico de la biomasa, dicho valor varía ampliamente, la lignina, con fórmula mínima $C_{10}H_{11}O_2$, posee un bajo grado de oxidación con respecto a la celulosa, $C_6H_{10}O_5$, por lo tanto su poder calorífico es superior (Jahn, 1982).

Por otro lado, el conocimiento del calor de formación de la biomasa es útil para llevar a cabo cálculos termodinámicos. El mismo puede calcularse a partir de los calores de combustión. Para comparar los calores de formación se normalizan sobre base seca y libre de cenizas.

2.2.6. Emisiones asociadas a la biomasa del olivar y del orégano

Los residuos del olivar tales como el orujo, presentan una ventaja al ser usados como biocombustible debido a su poder calorífico y su bajo impacto desde su punto de vista de emisiones gaseosas de SO_2 , el cual no supera el 0,14 de todos los residuos, mientras tanto los residuos del orégano pueden proveer compuestos volátiles que se pueden usar como aromatizante en la combustión.

2.2.7. Briquetas como fuente energética

La FAO (2012) reporta que, en América Latina, el 23 % de la población depende del uso de la leña como fuente energética, por ello las briquetas se convierten como una fuente alternativa que se puede obtener con tecnología de bajo costo.

Las briquetas por lo tanto se hacen de materiales sólidos, generalmente de partículas pequeñas de materia forestal, biomasa residual industrial, biomasa residual urbana, carbón vegetal o mezclas de algunas o todas de ellas, que se prensan con prensas hidráulicas o mecánicas que permiten obtener un material compacto en forma de cilindros pequeños o discos (Filippeto, 2008), para su compactación artesanal se adiciona un aglutinante y una presión de compactación entre 5 a 100 Mpa, mientras que en proceso industrial no se usa aglutinante, al usar temperaturas altas ($165\text{ }^{\circ}C$) y presión mayor a 100 Mpa (Madruga, 1981).

A su vez las briquetas son una fuente de energía calorífica cambiante, ya que son consolidados como bioenergía sólida que tiene la utilidad como comburente (biocombustible) en diferentes máquinas como calderas, hornos, parrillas, cocinas, etc. Estos residuos de biomasa comprimidos son empleadas en diversos usos como cocina, también en estufas y en usos más industriales como en fábricas productoras de cemento, de ladrillo, metalúrgicas, tostadores, secadores, entre otros procesos que requieran cantidades colosales de madera o leña (Guzman, 2017).

2.2.8. Eficiencia de combustión

Otra de las características más importantes es la eficiencia energética de combustión, la cual permite calcular la calidad de energía otorgada en la combustión. Esta es determinada mediante la resta del total de material quemado, el cual se puede hallar de la resta del peso inicial y el peso de la ceniza restante, dividido por el máximo valor teórico del material combustible.

De este modo el briquetado de los residuos agrícolas mejora las características de combustión de los biocombustibles que se busca fabricar, ya que con una cierta cantidad de kilogramos se puede generar mayor capacidad calorífica que la misma cantidad de kilogramos empleados de leña u otros combustibles contaminantes.

2.2.9. Tipos de briquetas

2.2.9.1. Fabricación Artesanal

La elaboración de briquetas de forma artesanal se necesita de la materia prima cortada, triturada o molida, luego se le agrega agua hasta formar la mezcla. Luego se prensa en un recipiente que puede ser de PVC, para extraer la humedad y se deja secar por dos o tres días, se utilizan prensas para compactar el material. Esta manera de fabricar briquetas es el más sencillo y no requiere gran inversión.

Para que la briqueta se compacte muchas veces es necesario utilizar aglutinantes para mantener unido el material que se está utilizando, estos son de fácil preparación y tienen propiedad de adhesión, el costo es relativamente bajo, no contaminan.

2.2.9.2. Fabricación Industrial

Para la fabricación industrializada de las briquetas es necesario el uso de briqueteadoras que son máquinas compactadoras de materiales sólidos. Están formadas básicamente por tolvas de alimentación, cámaras de compresión, émbolos y motor, cuando se utilizan este tipo de máquinas no es necesario utilizar aglutinantes debido a la alta presión y temperatura con la que se trabaja.

Según LLARIFOC (2013) para el proceso de briqueteado se pueden utilizar tres diferentes equipos, briqueteadora de pistón o por impacto, de tornillo o extrusión, de rodillos y briqueteadora hidráulica, siendo su descripción la siguiente:

- Densificación por impacto: Golpeo que se produce sobre la biomasa, esto mediante acción de un pistón y se obtiene densidades entre 1,000 – 1,200 kg/m³
- Briqueteadoras hidráulicas o neumáticas: Son máquinas de presión que utilizan cilindros accionados por sistemas hidráulicos, se utiliza cuando la biomasa es de baja calidad y el costo de mantenimiento es bajo. Las densidades obtenidas varían entre 700 – 1000 kg/m³
- Briqueteadoras de tornillo: Son densificadoras por extrusión, la presión la lleva a cabo un tornillo especial que obliga a que el material avance hasta una cámara que se estrecha, obteniendo las briquetas con densidades entre 1,300 – 1,400 kg/m³ y con orificios inferiores que favorecen la combustión. Es el método más caro para mantenimiento y producción

2.2.10. Especificaciones de las briquetas

Las briquetas son bloques renovables y ecológicos empleados para generar energía calorífica, también conocida como biomasa sólida debe tener ciertas características, generalmente de forma cilíndrica, también se fabrican rectangulares, hexagonales, cuadrangulares, entre otras formas, pueden ser macizas en su totalidad o huecas. El diámetro puede ser mayor a 5 cm y de una longitud que oscila entre 50 a 80 cm (De Lucas et al, 2017).

Según la norma Alemana DIN 51731 las briquetas producidas deben cumplir los siguientes requisitos:

Tabla 2

Requisitos para elaborar briquetas por tamaño según la norma DIN51731

Grupo	Diámetro (cm)	Longitud (cm)
HP1	>1	>3
HP2	6 – 10	15 – 30
HP3	3 – 7	10 – 16
HP4	1 – 4	<1
HP5	0,4 - 1	<0,5

Nota. Obtenido de Krizan (2015).

2.2.11. Ensayos para caracterización de briquetas

Los ensayos fisicoquímicos pueden ser los siguientes:

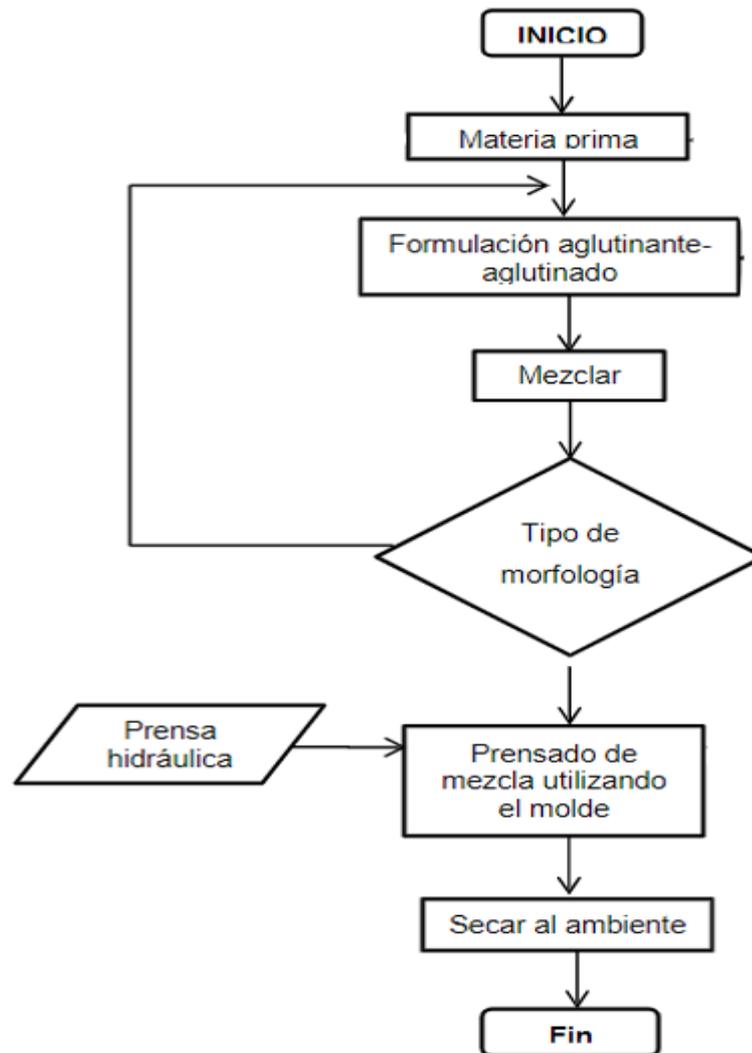
- Nivel de emisión de gas de combustión CO₂
- Poder calorífico (servicios de laboratorio); según NTC 2060.
- Consumo específico de combustible, según NTC 2060.
- Velocidad de combustión; según NTC 2060.
- Resistencia a la compresión; según NTC 2060.
- Humedad; según Norma ASTM D -1762.
- Cenizas; según norma ASTM D -1762.
- Material Volátil; Según norma ASTM-D1762.
- Carbono Fijo: según norma ASTM D3172.

2.2.12. Proceso de fabricación de briquetas

El proceso de fabricación de briquetas usado por Pérez (2017) es el siguiente:

Figura 1

Proceso de elaboración de briquetas



Nota. Obtenido de Pérez (2017) de fabricación de briquetas a partir de la cáscara de cacao y colofonia como aglutinante para ser utilizadas como biocombustibles.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Briqueta

Es un proceso de compactación o densificación para incrementar la baja densidad aparente de la biomasa a una densidad mayor (de 150-200 kg/m³ a 900 - 1300 kg/m³). (Bioenergía Y Seguridad Alimentaria Evaluación rápida (BEFS RA)).

2.3.2. Resistencia a la compresión

Capacidad de las briquetas para permanecer intactas frente a manipulaciones durante el transporte y movimientos bruscos de las mismas.

2.3.3. Poder Calorífico

El poder calorífico es la cantidad de calor que genera un kilogramo o un metro cúbico de combustible al oxidarse en forma completa; puede ser superior o inferior (Fernández s.f). Según la Norma Técnica Colombiana 2060. El poder calorífico de una briketa es de 3000 a 5000 Kcal/kg, el material lignocelulósico es el que aporta mayor eficiencia de poder calorífico.

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. Contenido de humedad

El contenido de humedad de la biomasa es muy importante ya que a mayor humedad menor es el poder calorífico. La humedad en la biomasa se puede medir en base seca o en base húmeda. El contenido de humedad en base húmeda representa la relación entre la masa de agua total y la masa seca, el contenido de humedad en base seca representa la relación entre la masa de agua presente en el material y la masa seca (Martines y Lira, 2010).

2.3.6. Biomasa

El término biomasa se le da a toda materia viva de origen animal y vegetal, que puede ser utilizada como fuente energética. Según Martín (2013) la biomasa es una de las energías renovables de menor costo y limpia, está puede sustituir a combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos y es recomendable para utilizarse en hogares o en diferentes industrias para la producción de energía (Astrid Carolina Valiente Mack 2017).

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

La tesis es de tipo experimental tal como afirma Badii (2017), por que el objetivo fundamental de los diseños experimentales radica en el determinar si existe una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos del experimento y en caso que la respuesta es afirmativa, cuál sería la magnitud de esta diferencia. El diseño de investigación es cuantitativo porque se usa información de tipo cuantitativa directa (Hernández, 2022) y transeccional, porque se estudia el fenómeno en un único momento del tiempo, así mismo corresponde a métodos y procedimientos utilizados para recopilar y analizar las variables de la investigación, que es empírica que permitirá la presentación y uso de conocimiento existente de experiencia prácticas de la investigación respecto a la temática desarrollada.

3.2. Acciones y actividades

La investigación al ser de tipo experimental, implica que la medición de las variables se realice en función de las variables respuesta que resultan de manipular las variables o factores de experimentación, por tanto, el procedimiento metodológico a emplear se describe en función de los objetivos que están concebidos a partir de las variables de experimentación.

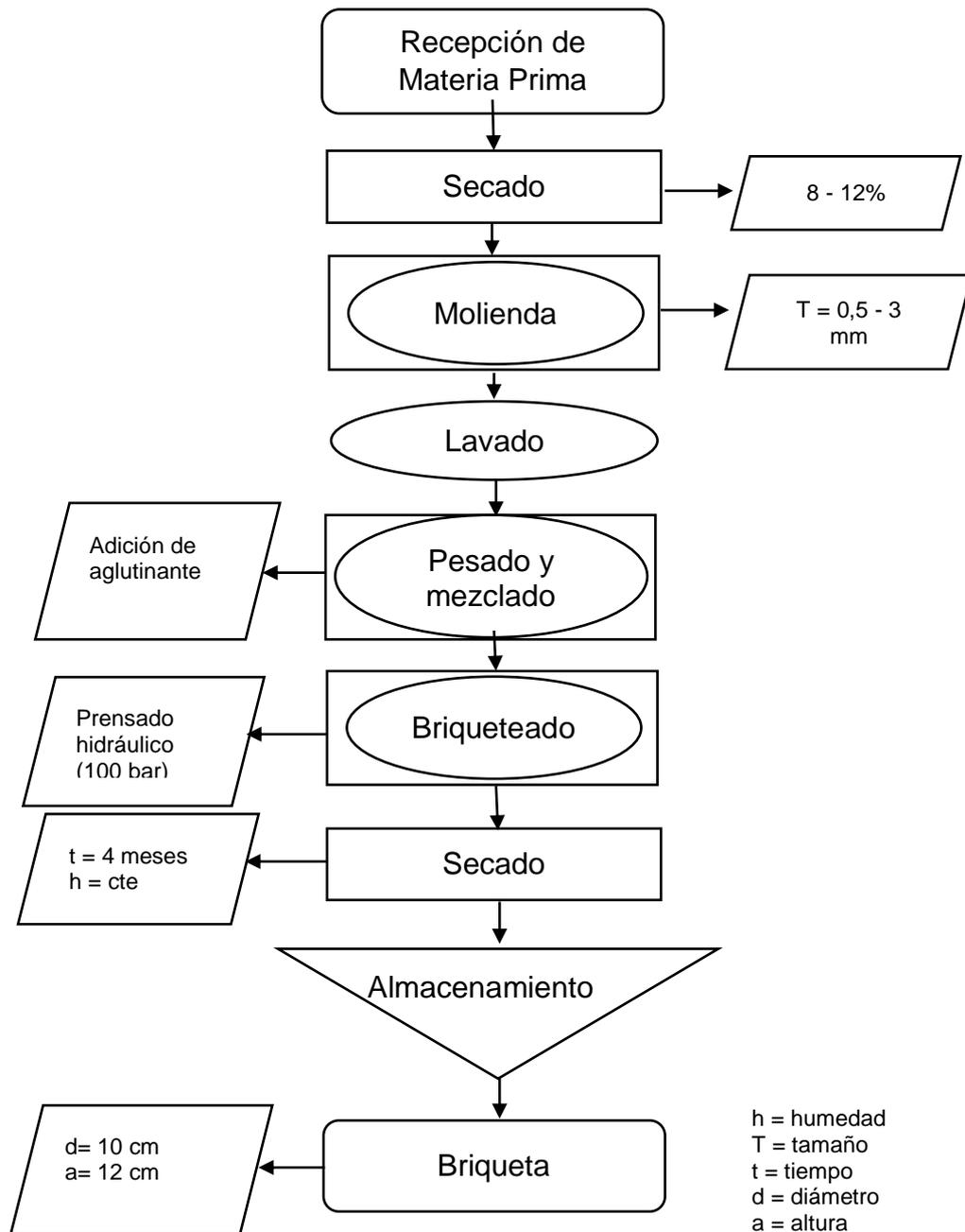
Por tanto, las actividades para desarrollar la tesis se resumen a las siguientes tareas:

3.2.1. Obtención de briquetas

La obtención de briquetas se realizó en función de la figura 2, el procedimiento es adaptado de Berastegui (2016) que se complementa con operaciones necesarias según el tipo de producto o biomasa a emplear.

Figura 2

Diagrama de flujo de la elaboración de briquetas



La descripción de cada operación del proceso se muestra a continuación:

- ***Recepción de materia Prima***

Se recepcionó los residuos de olivar tales como orujo y hueso, obtenidos gratuitamente de Agorindustrias Limaterra SAC, la poda fue acopiada de pobladores de la asociación rural 4 suyos en la Yarada. Los residuos de orégano se recepcionaron gracias a Aromático Inversiones SAC. La materia prima fue recepcionada en un ambiente amplio a temperatura ambiente.

- ***Secado de residuos sólidos***

El secado de los residuos sólidos se realizó al medio ambiente, en período de ejecución de la tesis, a condiciones ambientales, las cuales tenían una humedad constante de 8 a 12 % en tres a cuatro meses.

- ***Molienda***

Se realizó el proceso con un cepillo eléctrico de 750 W de potencia para las ramas gruesas de olivo y un molino de martillo con una potencia de 60 HP, para los demás residuos, reduciendo el tamaño significativo a pequeñas partículas, que luego se caracterizan tomando en cuenta su tamaño de partícula mediante unas mallas como tamices a un diámetro de 3 mm para poda y 2 mm para tallos de orégano.

- ***Lavado de biomasa de orujo***

Se realizó el pretratamiento de los orujos para la reducción de componentes minerales y resinas que pudiesen tener los residuos, por lo tanto, se aplicó el tipo de lavado convencional durante 3 horas repitiendo varias veces el proceso.

- ***Pesado y mezclado***

Una vez terminado el proceso de molienda, se realizó un diseño de experimento, con el fin de establecer la cantidad de unidades muestrales o de corridas y las proporciones de cada mezcla, para ello se estable el porcentaje de biomasa y porcentaje de aglomerante como los factores y las variables de respuesta a medir los que se muestran en el apartado correspondiente.

Tabla 3*Diseño de mezclas para elaborar briquetas de residuos de la industria olivar*

Tratamiento	Hueso (%)	Orujo (%)	Poda (%)	Aglutinante (%)
1	5	5	70	20
2	10	5	80	5
3	10	5	70	15
4	5	10	80	5
5	5	10	70	15
6	10	10	75	5
7	10	10	70	10
8	5	5	80	10
9	5	5	70	20
10	10	5	80	5
11	10	5	70	15

Nota: T1-T11 tratamientos obtenidos del diseño de mezclas de cuatro componentes; hueso; orujo; poda y aglutinante

Tabla 4*Diseño de mezclas para elaborar briquetas de residuos del orégano*

Tratamiento	Tallos (%)	Aglutinante (%)
1	85	15
2	95	5
3	90	10

Nota: T1-T3 tratamientos obtenidos del diseño de mezclas de dos componentes; tallos secos de orégano y aglutinante

El pesado se realizó en función de la cantidad de componente diseñado para las mezclas que resultan del diseño experimental y a un total de peso de 200 gr para cada briqueta, posterior al pesado de biomasa, se mezclan y homogenizan, hasta obtener una masa pastosa y homogénea.

- **Briqueteado**

Para el proceso de briqueteado, se empleó un equipo briqueteador el cual fue fabricado con acero de 8 mm de espesor, el cual consta de una caja

abierta de 72 cm de altura, una parte superior y la base rectangular de 32 cm de largo y 20 cm de ancho unido por 4 tubos de 3 cm de diámetro del mismo material y grosor en cada esquina, y un cilindro central de 11,5 cm de diámetro exterior y 25 cm de alto, por donde ingresa la mezcla correspondiente.

Se colocó dentro del molde cilíndrico central un tubo de pvc para facilitar el deslizamiento del material, teniendo un diámetro interno final de 10 cm, el cual una vez instalado quedó hueco hacia la base del armazón para expulsar por el mismo la briqueta ya compactada, este espacio hueco se abre y cierra por medio de una puerta de metal con bisagra y picaporte el cual se abre cuando se requiera retirar la briqueta compactada ilustrada en el anexo 4. También se utilizó un listón de 2 pulgadas de ancho para ejercer la presión con una gata hidráulica de 10 toneladas que se acopla en el techo del equipo así cuando se accione la presión se transmite por el listón hacia un círculo de madera de 1 pulgada de ancho que tiene el mismo diámetro del interior del cilindro, arrojando los resultados de presión a través de un manómetro de 0 a 350 bar de presión, instalado a la gata hidráulica. (Ver anexo 3)

- **Secado**

Las briquetas se secaron por convección libre, en un período de 4 meses como mínimo.

- **Almacenamiento**

Finalmente se obtuvieron briquetas compactadas con mezcla sólida en forma cilíndrica. (Ver anexo 4); el almacenamiento se realizó en un lugar fresco, seco y ventilado; las briquetas se mantuvieron separadas de agentes inflamables o puntos de calor (IBECOSOL, 2019).

3.2.2. Determinación del tamaño de partícula y el tiempo de lavado

3.2.2.1. Partículas de residuos de olivar y orégano

Las muestras de residuos molturados se recolectaron de empresas procesadoras de olivo y orégano, mientras que los residuos leñosos como podas y ramas, se acopiaron de campos de producción de olivo.

Se emplearon mallas de tela de 2 mm y 3 mm para poda y tallos respectivamente, y caracterizar dichos residuos por tamaño, en el caso de orujo y hueso de aceituna, se usó una malla de 1 mm, siendo estas de menor tamaño a la malla, facilitando su filtración.

Para el caso de los residuos leñosos de olivo se pasaron por un cepillo eléctrico marca stanley modelo STPP7502 de 750 W de potencia; mientras que el hueso de las aceitunas y los residuos de orégano, se molturaron en un molino de martillos accionada mediante un motor 60 caballos de potencia.

La clasificación por granulometría de las partículas se realizó por separado para los grupos de partículas según la malla descrita anteriormente.

3.2.2.2. Lavado de partículas de residuos del olivar

Antes de formular las mezclas a partir de los residuos molturados se aplicó el lavado convencional, la metodología descrita por Nogales (2015) indica que según el tipo de lavado se preparan dos muestras diferentes; Control a la que no se realiza un pretratamiento; y control con lavado mecánico.

Para el orujo se empleó la proporción de cada 200 g de muestra con 1 litro de agua durante 3 horas para el lavado mecánico a mano repitiendo varias veces el proceso.

3.2.3. Determinación del poder calorífico

Se empleó el método de Gouthal a partir de los análisis inmediatos del Instituto del carbón Corrales (1953).

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), según la ecuación (1).

$$\text{Poder Calorífico Superior} = 82 C_f + AV \text{ Kcal/kg (1)}$$

Donde: C_f = contenido de carbono fijo (%); V = contenido de materia volátil (%); A = coeficiente obtenido de la relación siguiente: $A = V/(V+C)$; (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: Pi= peso inicial de la muestra de carbón (g); Pf= 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). (Ver anexo 5)

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:

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

Donde: P_i = peso inicial de la muestra (g); P_f = peso final seco en estufa (g). (Ver anexo 6)

3.2.4. Nivel de gases de Combustión

Determinación de emisión de dióxido de carbono (CO₂)

Para evaluar las emisiones de CO₂ se empleó un módulo adaptado con un sensor de calidad de aire BME 680 marca bosch con rango de emisión de CO₂ de 0 a 9999 ppm, para ello se inició la combustión de las muestras con un mismo peso para todas sin los efectos de la ventilación, en un ambiente cerrado.

Se prendieron 4 briquetas secas en un ambiente cerrada, ubicando las muestras 30 cm por debajo del sensor del módulo de CO₂, asegurando que el hilo de humo que se produce sea captado por el mismo.

Durante la prueba fue posible observar en tiempo real los niveles de CO₂ en la pantalla de la computadora, por ello se tomaron datos cada 3 minutos y por triplicado hasta que termine la combustión de la muestra.

3.2.5. Prueba de resistencia de compresión en briquetas

Se realizó utilizando una máquina de compresión fabricada con madera de aguano de 2 pulgadas de espesor, las medidas de la estructura son de 35 cm de alto y 20 cm de ancho ilustrado en el anexo 5, para medir la presión se acopló la misma gata hidráulica con manómetro usada previamente en el briqueteado.

Se ubicaron las briquetas en la base interior de la máquina y se acciona la gata aumentando poco a poco la presión hasta la falla de la briqueta y anotando los valores determinados para todos los tratamientos, para los parámetros de compresión a tener en cuenta se tomaron en cuenta la norma técnica colombiana NTC-2060 que indica que la resistencia a la compresión es 784,31 (80) N (kgf) o su equivalente que es 78,4532 Bares. (Ver anexo 7).

3.2.6. Evaluación sensorial

Determinación de efectos sensoriales de las briquetas sobre muestras de carne de bovino

Prueba de preferencia por ordenamiento

Las pruebas sensoriales por ordenamiento se utilizaron para comprobar si las muestras de carnes de bovino con contenido de sal al 2 %, según el umbral de detección sensorial y que tenían las mismas características. Fueron cocidas a la parrilla usando como fuente calorífica; las briquetas de residuos del olivar y orégano, así como un carbón natural comprado de un supermercado local. (Ver anexo 8)

El panel de evaluación constó de 12 consumidores tal como indica la metodología donde no es necesario emplear panelistas entrenados (Villalobos, 2018) evaluaron de forma aleatoria muestras que fueron cocidas en las tres fuentes caloríficas. La finalidad fue detectar si en la cocción, las briquetas le conferían un aroma característico, en particular las briquetas de residuos de orégano. (Ver anexo 9)

Mediante una ficha sensorial los consumidores ordenaron en una escala ordinal de 1 al 3, donde 1 es la puntuación de la muestra que menos les gusta y 3 la que más les gusta. Para esto se entregó a cada panelista las tres muestras en recipientes idénticos, codificados con números aleatorios de tres dígitos.

Los datos obtenidos se ordenaron mediante una estadística no paramétrica denominada prueba de Friedman, para determinar si hay diferencias significativas en el ordenamiento según el agrado entre las muestras. El análisis de datos corresponde a la comparación de medias en

el análisis paramétrico. Un valor importante proviene de probar las tablas de Newell y MacFarlane, según número de muestras y cantidad de panelistas, que es similar al valor Q de la prueba de Tukey y al valor crítico del LSD (Least Significant Difference) de Fisher.

3.3. Materiales y/o instrumentos

- Muestra de biomasa de olivar (orujo, hueso y podas)
- Muestras de biomasa de orégano (tallos)
- Aglutinante (fécula de maíz)
- Balanza de precisión
- Equipo briqueteador
- Máquina de compresión
- Módulo de calidad de aire con sensor BME 680
- Tamices
- Molino de martillos 60 HP
- Cepillo eléctrico stanley STPP7502
- Estufa de secado
- Contenedores
- Higrómetro
- Mufla
- Desecador

3.4. Muestra de estudio

La muestra de estudio, deriva de los insumos y materiales a usar en la tesis, estos aspectos determinan que la muestra de estudio sea de carácter no probabilístico a conveniencia del investigador, por lo tanto, la cantidad de cada componente para la experimentación estará en función de la cantidad de experimentos a realizar y la cantidad a usar por cada experimento, así, la elección de la cantidad de los componentes dependen de las condiciones de acceso, disponibilidad y conveniencia (Izquierdo et al., 2007).

3.5. Operacionalización de variables

En la tabla 5 se desglosa y analiza las variables independiente y dependiente que corresponden a la presente investigación.

Tabla 5*Operacionalización de variables de investigación*

Variables	Indicador	Metodología
VARIABLES INDEPENDIENTES		Nivel de investigación: Experimental
• Tamaño de partícula por residuo	Niveles de partícula (mm)	Tipo de investigación: Investigación aplicada
• Relación orujo/residuos de poda/aglutinante	Porcentaje (%) de composición en relación a la formulación: • Orujo • Hueso de aceituna • Poda: • Aglutinante • Residuos de orégano	Parámetros de medición: NTC-2060 Briquetas combustibles para uso Doméstico.
Tiempo de lavado de orujo	Lavado mecánico: 3 h	Poder Calorífico: Método de Gouthal a partir de los análisis inmediatos Instituto del carbón Corrales (1953).
VARIABLES DEPENDIENTES		Análisis de características físicas:
• Nivel de gases de combustión (CO ₂)	• Ppm (CO ₂)	• Humedad: Norma ASTM D -1762 • Cenizas: Norma ASTM D -1762 • Material Volátil: Norma ASTM-D1762 • Carbono Fijo: Norma ASTM D3172
• Poder calorífico	• KJ/kg	
• Resistencia a la compresión	• Bar	Diseño experimental: Diseño de mezclas
• Efectos sensoriales	• Orden de preferencia	Prueba de Ordenamiento

3.6. Procesamiento y análisis de datos

Para el proceso de obtención de las briquetas, se usará un *diseño experimental de mezclas* ya que permite realizar combinaciones de productos para buscar nuevas características funcionales y optimizar el uso de materias primas que serán usadas, al respecto Ortega et al. (2014) indica que una característica especial de los diseños de mezclas es que la cantidad total de la mezcla normalmente se fija en el diseño de experimentos, y la de cada componente es proporcional a la cantidad total, además, la proporción no puede variar independientemente como en los diseños factoriales, porque ellas están restringidas a que la suma sea constante (1 o 100%).

Según Pulido et al., (2012) el modelo es representado por la ecuación 5:

$$0 \leq X_i \leq 1 \text{ Para cada componente } i$$

$$\sum_{i=1}^q X_i = X_1 + X_2 + \dots + X_q = 1 \quad (5)$$

Donde se cumple que:

Las proporciones *que suman* siempre la unidad y los niveles de los componentes X_i no son independientes entre sí.

Por lo tanto, los rangos establecidos para los componentes de las mezclas (codificados en composición y fracción de 0 a 1, según el rango alto o bajo), por tanto, la formulación inicial se muestra en la tabla 6.

Tabla 6

Formulación de las mezclas en función del diseño estadístico

Tipo de briketa	Insumos y aditivos	Porcentaje mínimo (%)	Porcentaje máximo (%)	Fuente
Briquetas de residuos de olivar	Huesos de aceituna	5	10	- Nogales (2015)
	Orujo	5	15	- Cunurana (2018)
	Poda	70	80	- Ortiz, et al., (2003)
	Aglomerante	5	10	- Tripathi et al., (1998)
Briquetas de residuos de orégano	Tallos de orégano	45	60	- Correa-
	Poda	30	50	Fernández (2014)
	Aglutinante	5	10	

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Este es el capítulo donde se presentan los resultados del análisis de datos obtenidos de diferentes experimentos que derivan de los objetivos. Estos resultados permiten avizorar las particularidades del comportamiento físico y químico de las muestras obtenidas.

Se destacan especialmente los componentes que mejoran las formulaciones para obtener indicadores óptimos y destacando las posibles explicaciones.

4.1. Características de las briquetas según su formulación

La característica física evaluada en las briquetas es la resistencia a la compresión. Las determinaciones se realizaron tomando en cuenta los tratamientos que resultan del diseño de mezclas, tanto para briquetas de residuos del olivar como de orégano.

Atendiendo al primer objetivo de la tesis, la determinación de las proporciones adecuadas en las formulaciones de ambas briquetas, es función de las pruebas descritas en el párrafo anterior, así como los que se describen en los subsiguientes apartados.

4.1.1. Prueba de resistencia a la compresión de briquetas

Con la finalidad de conocer la capacidad de permanecer intactas frente a los procesos de manipulación, apilado y transporte, para este caso se construyó un equipo de compresión que dispone de una gata hidráulica y un manómetro, tal como se observa en el anexo 5.

4.1.1.1 Prueba de compresión para briquetas de residuos del olivar

En la tabla 7, se observa los resultados de la prueba de compresión, en ella destaca que la participación del aglutinante tendría mayor significancia en la compactación de las briquetas, no obstante estaría también influyendo la participación de algún componente en particular, por ello con la finalidad de apreciar si existe un modelo que determine una resistencia a la compresión a partir de las mezclas se analizó mediante el diseño de mezclas.

Tabla 7

Resistencia a la compresión según tratamientos para briquetas de residuos de olivar

Formulación	Prueba de compresión	Prueba de compresión
	Briquetas con orujo lavado $\bar{X} \pm SD$ (bar)	Briquetas con orujo sin lavar $\bar{X} \pm SD$ (bar)
1	44 ± 1,73	45 ± 2,12
2	30 ± 20	28 ± 2,38
3	48 ± 2,89	50 ± 3,54
4	17 ± 2,89	9 ± 0,71
5	69 ± 5,13	68 ± 2,12
6	17 ± 2,89	15 ± 0,71
7	24 ± 1,15	23 ± 1,41
8	21 ± 1,73	20 ± 0,00
9	48 ± 2,52	45 ± 2,12
10	11 ± 1,15	10 ± 1,41
11	73 ± 2,89	75 ± 3,54

Tal como se observa en la tabla 8, existe un modelo lineal que es significativo para predecir la influencia de la mezcla sobre la resistencia (P-valor = 0,05), siendo el modelo representado por la ecuación (B)

Tabla 8

ANOVA Resistencia a la compresión de briquetas con orujo lavado

Fuente	SC	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo Lineal	3206.93	3	1068.98	4.15	0.0542
Error total	1801.61	7	257.373	-	-
Total (corr.)	5008.55	10	-	-	-

Nota. SC = Suma de Cuadrados; Gl = Grados de Libertad R-cuadrada = 64.0293 por ciento, R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 48.6132 por ciento

$$RC = 42.1096*\text{hueso} + 20.2055*\text{Orujo} + 5.05753*\text{Poda} + 56.9288*\text{Aglutinante}$$

(B)

Tabla 9

ANOVA para Resistencia a la compresión con orujo sin lavar

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo Lineal	3366.46	3	1122.15	4.21	0.0535
Error total	1865.73	7	266.532		
Total (corr.)	5232.18	10			

Nota. R-cuadrada = 64.3413 por ciento, R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 49.0591 por ciento

$$\text{Resistencia a la compresión} = 44.2055*\text{hueso} + 19.2603*\text{Orujo} + 3.23288*\text{Poda} + 56.6164*\text{Aglutinante}$$

Al hacer el ejercicio de maximización de la resistencia a la compresión; resulta que se puede obtener un valor óptimo de compresión de 56.9288 bar para briquetas con orujos lavar y 56.6164. Tal como se observa en tabla 10, los valores de formulación no son diferentes ni lo óptimo que se puede obtener a partir de las mezclas.

Tabla 10

Valores optimizados de mezcla para Briquetas

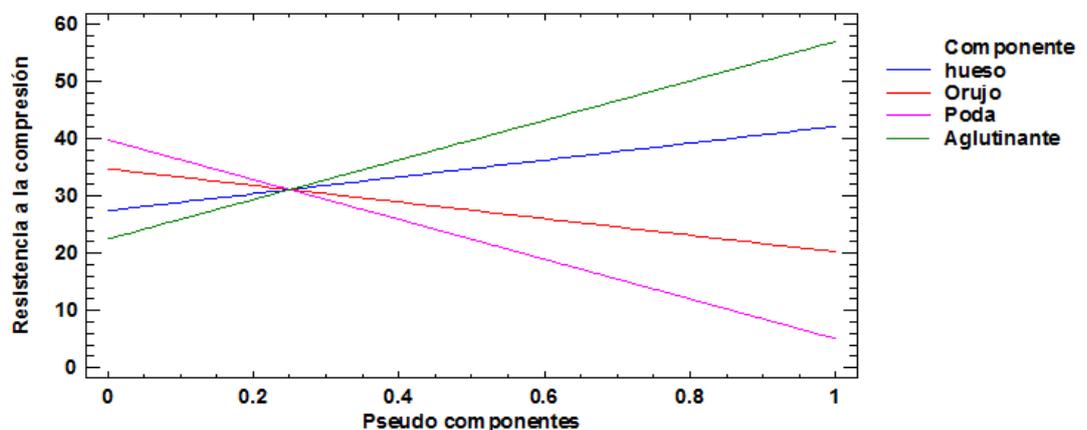
<i>Factor</i>	<i>Orujo lavado</i>			<i>Orujo sin lavado</i>		
	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Hueso	5.0	10.0	5.0	5.0	10.0	5.0
Orujo	5.0	10.0	5.0	5.0	10.0	5.0
Poda	70.0	80.0	70.0	70.0	80.0	70.0
Aglutinante	5.0	20.0	20.0	5.0	20.0	20.0

Para ver específicamente cómo influye cada componente sobre la resistencia de las briquetas, se realizó la gráfica de trazas que se aprecia en la figura 3, en ella se aprecia las tendencias de cada componente que favorecen o desfavorecen la resistencia a la compresión calificado como variable respuesta.

Para ambos experimentos tiene un comportamiento similar en la gráfica de trazas, donde el aglutinante tiene un comportamiento más favorable por encima de los demás componentes, seguidamente el que más favorece es el hueso de aceituna, por el contrario los que desfavorecen la resistencia a la compresión son el orujo o la poda.

Figura 3

Gráfica de traza para resistencia a la compresión



4.1.1.2. Prueba de compresión para briquetas de residuos del orégano

De forma similar a los procedimientos realizados a las briquetas de residuos del olivar, se efectuó el análisis de la resistencia a la compresión a las briquetas de residuos de orégano. Los tratamientos para la formulación de briquetas se realizaron bajo un Diseño Completo al Azar (DCA), con tres formulaciones y tres réplicas, tal como se aprecia en la tabla 11.

Tabla 11

Resistencia a la compresión según tratamientos para briquetas de orégano

Formulación	Tallo	aglutinante	Prueba de compresión $\bar{X} \pm SD$ (bar)
1	85	15	31 \pm 1,15
2	95	5	9 \pm 1,15
3	90	10	14 \pm 1,73

Según los resultados de resistencia a la compresión se observa que aparentemente la primera formulación presenta la mejor resistencia, para comprobar estadísticamente se realizó un análisis de varianza que se observa en la tabla 12.

Tabla 12

Tabla ANOVA para comparación de resistencia a la compresión en briquetas de orégano

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	754,667	2	377,333	199.76	0,0000
Intra grupos	11,3333	6	1.88889	-	-
Total (Corr.)	766,0	8	-	-	-

Tal como se observa en la Tabla 12, existe una diferencia significativa entre tratamientos (p -valor $< 0,0001$), por lo tanto, para identificar el tratamiento que mejor resistencia a la compresión tenía, se realizó un análisis de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, tal como se observa en la tabla 13, se observa que el primer tratamiento presentó la mejor resistencia a la compresión.

Tabla 13

Pruebas de Múltiple Rangos para resistencia a la compresión de briquetas de residuos de orégano

Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Tratamiento 2	3	9,333	A
Tratamiento 3	3	14,000	B
Tratamiento 1	3	30,667	C

4.2. Poder calorífico de las briquetas

Con la finalidad de conocer la composición mediante un análisis inmediato de la biomasa de las briquetas como producto transformado, es relevante la determinación de su poder calorífico, así mismo como una fuente de energía alternativa, es necesario conocer su rendimiento en el proceso térmico para su aprovechamiento energético. Por ello se ha realizado un análisis inmediato con la finalidad de conocer los porcentajes de cenizas, material volátil y carbono fijo y a través de estos parámetros calcular el poder calorífico. Ver anexo 2.

Los cálculos estriban en el hecho que la cantidad de energía que se puede desprender por unidad de masa al producirse la reacción química de oxidación, en este caso el poder calorífico superior se considera como aquella cantidad de calor desprendido en la combustión completa por unidad de volumen de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza que da como resultado el calor generado en este cambio de fase (Nogales, 2018).

4.2.1. Poder calorífico de briquetas de residuos del olivar

Las determinaciones hechas a las briquetas a partir de residuos del olivar se muestran en la tabla 14, se encontraron que al comparar cualitativamente las briquetas que contenían orujo lavado y Orujo sin lavar presentaban un poder calorífico similar.

Tabla 14

Poder calorífico en briquetas de residuos del olivar que contienen orujo lavado y sin lavar

Formulación	Poder calorífico (Kcal/kg)	
	Orujo lavado	Orujo sin lavar
1	5519,25	5529,74
2	6039,99	6041,44
3	5494,35	5502,22
4	6212,44	6215,07
5	5671,54	5675,47
6	5914,99	5917,61
7	5645,57	5647,96
8	6016,10	6021,35
9	5524,50	5529,74
10	6040,24	6041,44
11	5498,17	5502,22

Para comprobar cómo influye los componentes de la mezcla sobre el poder calorífico de las briquetas se realizó la formulación del modelo a partir del diseño de mezclas, para el caso de las briquetas que contenían orujo lavado y sin lavar se encontró mediante un análisis de varianza que para ambos casos el modelo lineal predice adecuadamente (R ajustado 99,71 %) a la variable poder calorífico, siendo estadísticamente significativo según la tabla 15. así mismo se muestra el modelo que predice el poder calorífico.

Tabla 15

ANOVA para Poder calorífico de briquetas de residuos de olivar con Orujo lavado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo Lineal	718967.	3	239656.	1156.01	0.0000
Error total	1451.19	7	207.313		
Total (corr.)	720419.	10			

Nota. R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.7122 por ciento

Poder calorífico = 5469.1*Hueso + 5980.08*Orujo + 6310.78*Poda + 5514.24*Aglutinante

También se realizó un cálculo teórico para optimizar el poder calórico a partir de la composición óptima de insumos con los que se formula las briquetas, encontrando que se puede obtener un valor óptimo de poder calórico (6200 Kcal/kg) si se mezclan óptimamente los componentes según la tabla 16.

Tabla 16

Maximización del Poder calórico de olivar con orujo sin lavado

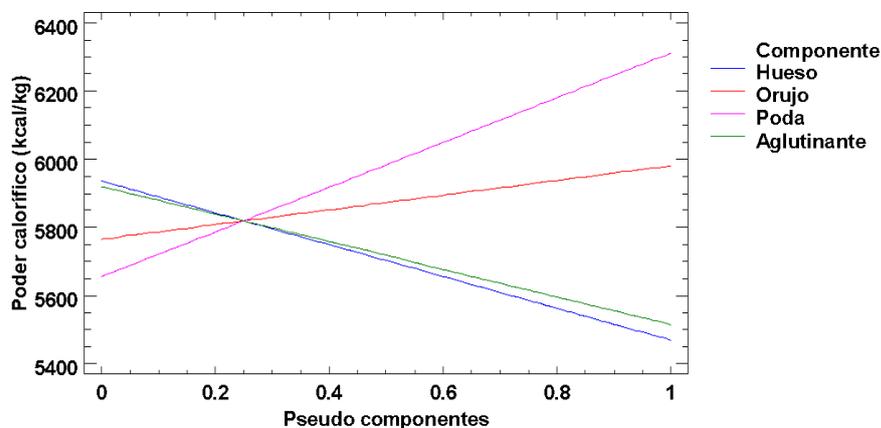
Valor óptimo = 6200.55

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Hueso	5.0	10.0	5.0
Orujo	5.0	10.0	10.0
Poda	70.0	80.0	80.0
Aglutinante	5.0	20.0	5.0

Al analizar el gráfico de trazas se aprecia que esta mejora en el poder calórico se lograría si se aumenta el orujo y la poda y disminuye el aglutinante y el hueso de aceituna tal como se aprecia en la figura 4.

Figura 4

Gráfico de traza para poder calórico en Briquetas de residuos de olivar con orujo sin lavar



De forma similar a las briquetas con orujo sin lavar, las briquetas que contenían orujo lavado se comportan idénticamente, es decir el modelo lineal descrito es significativo (tabla 14) y tienen coeficiente de determinación muy similar.

Tabla 17

ANOVA para Poder calorífico

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	709578.	3	236526.	1215.05	0.0000
Lineal					
Error total	1362.65	7	194.664		
Total (corr.)	710941.	10			

Nota. R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.7262 %

El modelo lineal mostrado que predice también resulta similar, así como la optimización del poder calorífico, resulta análogo (Tabla 17)

$$\text{Poder calorífico} = 5469.82 \cdot \text{Hueso} + 5980.3 \cdot \text{Orujo} + 6313.8 \cdot \text{Poda} + 5522.04 \cdot \text{Aglutinante}$$

Tabla 18

Maximización del Poder calorífico de briquetas de olivar con orujo lavado

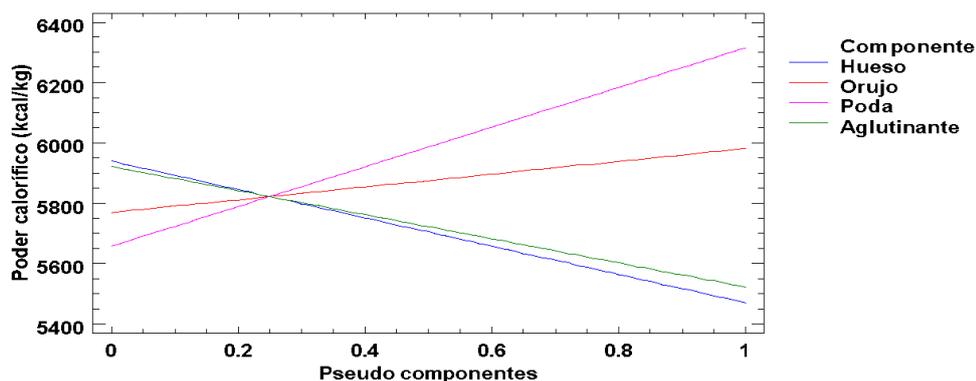
Valor óptimo = 6202.63

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Hueso	5.0	10.0	5.0
Orujo	5.0	10.0	10.0
Poda	70.0	80.0	80.0
Aglutinante	5.0	20.0	5.0

Por otro lado, al analizar el gráfico de trazas también resultó con tendencias idénticas tal como se puede apreciar en la figura 5

Figura 5

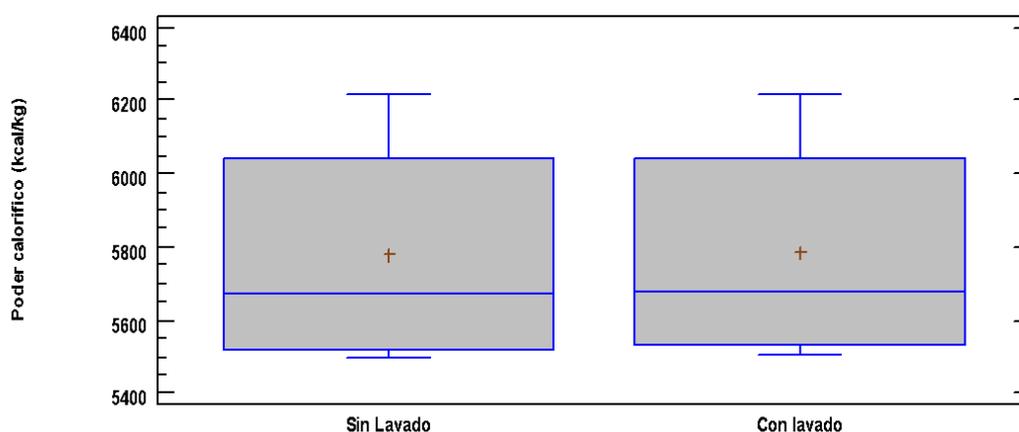
Gráfico de trazas para poder calorífico en Briquetas de residuos de olivar con orujo lavado



Comparación del poder calorífico de ambas briquetas

Para determinar si había diferencias significativas en el poder calorífico de ambas briquetas, se comparó mediante un gráfico de caja y bigotes que se presenta en la figura H, donde puede apreciar que son idénticamente iguales y no presentan diferencias estadísticas significativas (P valor = 0,9704), por tanto queda demostrado que no hay diferencias en emplear el orujo lavado o sin lavar, porque el poder calorífico es similar en términos estadísticos se aprecia en la figura 6.

Figura 6: Gráfico de caja y bigotes de comparación de briquetas de residuos de olivar con orujo lavado y sin lavar



4.2.2. Poder calorífico de briquetas de residuos de orégano

Las briquetas de residuos de orégano, también fueron determinadas mediante el análisis inmediato, para ello se calculó los porcentajes de humedad, materias volátiles, cenizas y carbono fijo, tal como indica el método descrito por Carbajal (2012), tal como se aparecía en la tabla 19, el poder calorífico de las briquetas de residuos de orégano presentó menor poder calorífico en comparación a las briquetas de residuos del olivar.

Tabla 19

Poder calorífico de residuos de orégano

Formulación	Poder calorífico (Kcal/kg)
1	1702,17
2	1823,41
3	1762,31

4.3. Niveles de emisiones de CO₂

Las emisiones de CO₂ se realizaron con un sensor de medición de CO₂ marca Bosch modelo BME 680 adaptado a un módulo para el monitoreo de datos en vivo a una computadora. Se quemaron 4 de briquetas secas en una habitación cerrada. Se midió en tiempo real cada tres minutos y por triplicado los gases emitidos durante la combustión en partes por millón (ppm) a muestras de briquetas formuladas que contienen entre sus componentes, Orujo lavado, sin lavar y residuos de orégano; además, en este caso para comparar si existían diferencias significativas en la emisión de CO₂, dichos datos se pueden ver en la tabla 20. (Ver anexo 10).

Tabla 20

Mediciones de CO₂ (ppm) en briquetas residuos de olivar y de orégano

N°	Briquetas de residuos de olivar		Briquetas de orégano
	Orujo lavado	Orujo Sin lavado	
1	1054,79	1548,38	421,46
2	1752,38	1792,49	870,95
3	1620,91	1697,33	919,12
4	1553,77	1614,84	3701,82
5	1175,68	1199,63	4608,22
Media	1431,51	1570,53	1075,77
Desviación Estándar	300,47	226,58	987,91
Coeficiente de variación (%)	20,99	14,42	91,33

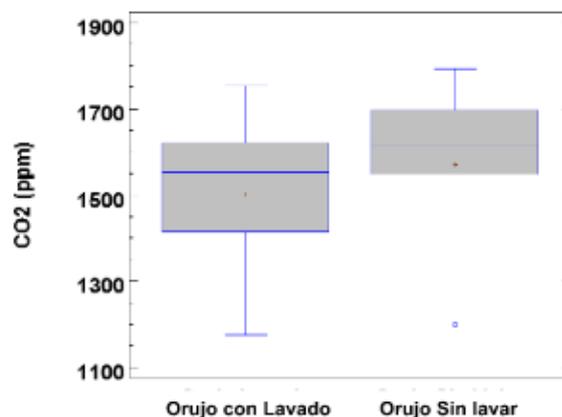
Los valores de tendencia central sugieren que existe una gran dispersión (desviación estándar), ello obedece a que en los muestreos se observa que la concentración de CO₂ incrementa a medida que pasa el tiempo, llegando a estabilizar en un valor determinado.

La representación de los datos se aprecia en la figura 7, donde la mediana emisiones en las briquetas que contienen orujo lavado en su formulación, emite menor cantidad de CO₂ (1431,51 ppm) en comparación al que contiene orujo sin

lavar (1570,53 ppm), no obstante, es más disperso y estadísticamente no es significativo las diferencias encontradas (P valor = 0,6464)

Figura 7

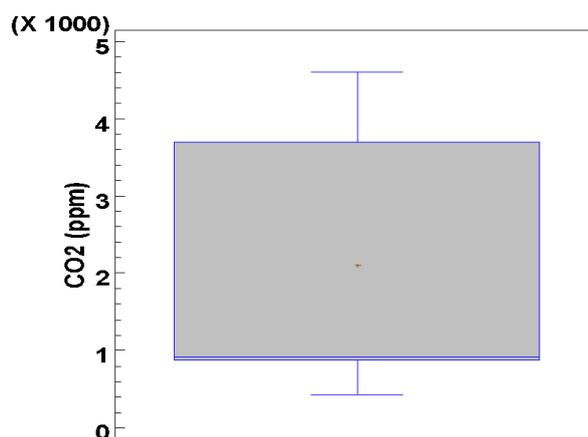
Emisiones de CO₂ en briquetas de residuos de olivar



También se determinó este parámetro en las briquetas de residuos de orégano, al analizar sus medidas de tendencia central, se encuentran que son más dispersas y con un sesgo negativo ya que la mediana está más próxima al percentil 25, tal como se observa en la figura 8.

Figura 8

Emisiones de CO₂ en briquetas de residuos de orégano



4.4. Características físicas de las briquetas según la NTC 2060

El resumen de las características física determinadas en las briquetas de residuos del olivar y de orégano comparadas con la norma NTC 2060, se muestran en la tabla 21, así como en el anexo 11.

Tabla 21*Características físicas de las briquetas comparadas con la NTC 2060*

Parámetro	Briquetas de residuos del Olivar	Briquetas de residuos Orégano	NTC 2060
Poder calorífico (kcal/kg)	6 215,07 ^a 6 212,44 ^b	1823,41	Briqueta tipo II: 3 000,00 (min)
Cenizas (%)	1,50 – 1,99 ^a 1,50 – 1,99 ^b	9,47	30 (máx.)
Carbono fijo (%)	15,00 – 17,49 ^a 15,00 – 17,49 ^b	12,44	-
Material volátil (%)	11,55 – 21,66 ^a 11,54 – 21,66 ^b	59,68	15
Humedad (%)	9,45 – 10,79 ^a 9,52 – 10,82 ^b	11,13	2,5 ^c
Resistencia a la compresión (bar)	75±3,54	31± 1,15	78,431

(a) Briquetas con orujo sin lavado, (b) briquetas con orujo lavado, (c) este requisito se controla en la etapa final de distribución.

4.5. Evaluación de la influencia aromatizante en alimentos

4.5.1. Efectos sensoriales de las briquetas sobre muestras de carne

En la tabla 22, se observan las puntuaciones otorgadas de los jueces de acuerdo a la intensidad perceptible de gusto, las muestras de carne que obtuvieron mayor puntaje fueron las coaccionadas con briquetas de orégano (30), lo que es concordante con el valor de la moda, que indica que hubo mayor frecuencia de puntuar con el puntaje de 2 de tres posibles.

Tabla 22*Puntajes otorgados por los consumidores a muestras evaluadas*

Nº	Carbón	Orégano	Olivo
Juez 1	1	3	2
Juez 2	3	2	1
Juez 3	2	3	1
Juez 4	1	3	2
Juez 5	2	1	3
Juez 6	2	3	1
Juez 7	2	3	1
Juez 8	1	3	2
Juez 9	2	3	1
Juez 10	1	3	2
Juez 11	3	2	1
Juez 12	2	1	3
Sumatoria	22	30	20
Moda	2	3	1

Para comprobar las diferencias entre la aceptación de las muestras, se comparó según indica la metodología, entre los totales de los valores de posición de los posibles pares de muestras utilizando la prueba de Friedman (Tabla 23), no se encontró diferencias estadísticamente significativas ($X^2 = 0,167$; Sig. Asintótica = 0,920) entre las medias de las puntuaciones en las tres muestras.

Tabla 23*Prueba de Friedman de aceptación sensorial de briquetas*

Parámetro	Valor
N	12
Chi-cuadrado (X^2)	4,67
G.l.	2
Sig. Asintótica.	0,97

Para definir cuál de las muestras es estadísticamente más aceptada, se comparó los valores totales de puntuación de cada muestra y a partir del cual se establecieron las diferencias de todos los posibles pares de muestras con el valor crítico de la tabla de Newell y MacFarlane de Diferencias Críticas Absolutas de la Suma de Rangos para las Comparaciones de "Todos los Tratamientos" a un Nivel de Significancia de 5%, En la tabla 24 se puede apreciar que en todos los casos, la diferencia entre pares es menor al valor crítico por tanto se acepta que la diferencia entre todos los pares no son significativos.

Tabla 24

Comparaciones múltiples y diferencias críticas absolutas

Contraste	Diferencia entre pares	Valor crítico de Newell y MacFarlane*
B. Carbón – B. Orégano	8	12 (Ns)
B. Carbón – B. Olivo	2	12 (Ns)
B. Orégano – B. Olivo	10	12 (Ns)

Nota. Para 12 jueces y tres muestras., Ns = no significativo

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

El poder calorífico encontrado para briquetas de residuos de olivar donde se incorporó orujo lavado y orujo sin lavar, presentaron un poder calorífico promedio de 5779,7 kcal/kg y 5784,02 kcal/kg, estas diferencias no son significativas, por lo tanto se puede afirmar que el lavado de orujo, no influye en el poder calórico de las briquetas de residuos de olivar, estos valores comprados con la norma técnica colombiana para briquetas (NTC 2060) son superiores al rango de valores normados (3 000 – 5000 kcal/kg), también al comparar con estudios similares se encuentran similares a lo determinado por Cunurana (5 709,46 Kcal/kg) para briquetas de fueron formuladas con orujo y poda de olivo.

Los valores encontrados que son superiores a contemplar a la norma mencionada, se explicarían debido al hecho las briquetas contienen en mayor porcentaje (70 – 80 %) los residuos de poda, que son materiales lignocelulósicos que son una buena fuente calorífica tal como menciona Al-Kassir (2013), esta premisa es reforzada con la con el gráfico de trazas (figura 4 y figura 5) donde se puede apreciar que el componente que en mayor medida influye sobre el poder calorífico, es efectivamente la poda del olivo seguida del orujo. Otros estudios realizados encontraron indicadores de poder calorífico que son inferiores (4110,54 kcal/kg) para briquetas de borras de café por Balseca-Sampedro (2018), así como el valor de 4289,4 kcal/kg encontrado en briquetas de aserrín de pino y almidón de mandioca como aglomerante por Gallipoliti et al. (2011).

Respecto a las briquetas de orégano resultaron tener menor cantidad de poder calorífico (1762,63 kcal/kg) que lo determinado en briquetas de residuos del olivar, también son menores que lo contemplado en la norma técnica colombiana, su explicación estaría dado porque los residuos empleados (palillos) tienen menor contenido de material lignocelulósico, que es el que influye en mayor medida sobre el poder calorífico, no obstante ello, parece prometedor su empleo porque es un residuos no aprovechado adecuadamente y mediante este proceso se pude dar valor agregado.

Las determinaciones de CO₂ en las muestras de briquetas de y olivo orégano, resultaron con valores de 1431,51 ppm a 1570,53 ppm para el primer caso y en 1075,77 ppm en el segundo caso, estos valores son similares a los determinados por (Fanárraga Lukuy, Universidad Cesar Vallejo, 2021) quien reportó 1432 ppm para carbón tradicional, mientras que las briquetas de hueso de palta presentaron

una emisión de 480 ppm, los autores consideran que el CO₂ liberado por la biomasa es menor que el de un carbón obtenido por la vía de la pirólisis, otros estudios (Shuma y Mayra 2049; Cong et al., 2019) también demuestran que briquetas obtenidas de biomasa como cáscaras de café, nueces y aserrines generan menores emisiones de CO₂ que el carbón, su explicación estaría en que las emisiones de las briquetas corresponden a carbono neutral por su procedencia renovable. En un estudio realizado por Nogales (2015), encontró que al hacer combustión de orujo de aceituna lavada y sin lavar, las reducciones fueron moderadas, ello podría explicarse porque el contaminante emitido está en mayor proporción. No obstante, no fueron significativas las reducciones de CO₂, en mayor o menor medida el tratamiento de lavado podría reducir los contaminantes emitidos por la combustión de las briquetas a partir de residuos del olivar. Si llama la atención que las briquetas a partir de orégano presenten menor cantidad de emisiones de CO₂ (1075,77 ppm) en comparación a los dos tipos de briquetas de olivar, más aún cuando se tiene la idea de usarlo como briqueta aromática que aporte los aceites volátiles que aún contiene, no obstante, es menor a lo encontrado por Fanárraga y Jihuallanca (2021) quienes determinaron 1432 ppm de CO₂ para carbón tradicional, por lo tanto, podría ser una alternativa en esos términos. Respecto al lavado de orujo con la finalidad de reducir emisiones en las briquetas que se elaboran con ella, se pueden esgrimir algunos inconvenientes que dificultaron su escalamiento industrial, porque al generar aguas de lavado se podría generar residuos líquidos y la pérdida de material debido a su posible dilución, así mismo incrementaría el tiempo de secado, lo que podría encarecer los costos, por ello aún queda experimentar otras técnicas que disminuyan las emisiones contaminantes de las briquetas.

La resistencia a la compresión resulta interesante al comparar entre los dos experimentos al obtener briquetas que contienen en su formulación orujo lavado y sin lavar, donde se apreció que al determinar este parámetro ambos tienen similar resultado, en cuanto al modelo lineal que predice su formulación sobre la variable respuesta; así mismo resulta estadísticamente similar en cuanto a la optimización de las mezclas para maximizar la resistencia, esta prueba también resultó similar en ambos casos, su explicación estaría en que el lavado del orujo no influye en la resistencia de las briquetas. En relación a los valores encontrados resultan ser inferiores a lo indicado en la norma colombiana NTC – 2060 NTC-2060 que indica que la resistencia a la compresión es 784,31 (80) N (kgf) o su equivalente que es 78,4532 Bares; en los dos experimentos el máximo de

resistencia obtenido es $75 \pm 3,54$ bar (tratamiento 11) cuando se emplea el orujo lavado, lo anterior sugiere que se debe aumentar en las formulaciones una mayor cantidad de aglutinante, ya que en la región experimentada se considera máximo un 20 % y que esta podría ser mucho más según lo apreciado en la tabla 10 de optimización de las mezclas, todo ello parece confirmar lo que se aprecia en el gráfico de trazas (figura 3) donde en ambos experimentos donde el aglutinante tiene un comportamiento más favorable por encima de los demás componentes, por lo que si se aumenta en aglutinante, esta influiría positivamente sobre la resistencia de la briqueta. Seguidamente el que más favorece a la resistencia es el hueso de aceituna, por el contrario, los que desfavorecen la resistencia a la compresión son el orujo o la poda. Algunos estudios donde se midió la resistencia de briquetas es el realizado por Balseca et al. (2018), donde determinó que la resistencia a la compresión de briquetas de café eran máximo 24,24 Kgf (23,77 bar), resultados muy inferiores a los encontrados en esta tesis. No obstante, Berasategui et al. (2016) logró obtener briquetas que cumplían con lo establecido al determinar que el 90 % de sus muestras sobrepasaron el valor de 70 kgf establecido en la norma técnica colombiana descrita líneas arriba.

Se encontró que no existe influencia de los efectos sensoriales de las briquetas sobre muestras de carne de bovino, no obstante, la carne cocida con briquetas de orégano obtuvo las mejores puntuaciones, no resulta ser significativamente diferente a las demás. Las diferencias encontradas podrían ser un indicativo que el empleo de las briquetas de residuos de orégano, puedan ser mejoradas y por tanto ser usadas para el propósito mencionado, considerando que estos residuos son eliminados sin ningún uso y es aún posible usarlo por su contenido de aceite esencial. En algunos países se comercializa briquetas aromáticas que proveen diferentes aromas a los productos que son cocidos con ellas, tales como parrillas y carne asada, la finalidad es conferir aromas característicos que mejoren la aceptación sensorial tal como ocurre en un proceso de ahumado, en este tipo de procesos se han estudiado ahumados con mezclas de orégano y romero (25 % - 75 %), determinando que las especias aromáticas añadidas en el ahumado, mejoraron las características organolépticas de embutidos (Duran, 2020), no obstante la evaluación de la aplicación de briquetas de orégano tiene la finalidad de mejorar las características sensoriales del producto, también es cierto que pueden sumar o adherir algunos compuestos procedentes de la combustión de las mismas y algunas pueden ser de carácter

tóxico (Conde, 2008; Krvavica et al., 2018), Aunque habría que acotar que las emisión de CO₂ fueron bajas en comparación al carbón natural y a las briquetas de olivo. Estos aspectos aún deben ser mejor estudiados para el caso de las briquetas aromáticas que tienen esa finalidad de uso.

Se realizo un costo de producción, evaluando el precio de materia prima, mano de obra y costos indirectos mensuales, lo cuál dio una cantidad de inversión positiva y accesible para los emprendedores, siendo S/10400.00 la inversión inicial, con una producción diaria de 2000 briquetas, trabajando con 4 operarios y un jefe de planta, los cuales ganarían más del sueldo mínimo trabajando 48 horas semanales, en turno de 8 horas diarias por 6 días consecutivos, con descanso el día domingo. La rentabilidad resulto efectiva en un 50% mensual, ya que dando el precio mínimo a cada briqueta se obtiene una ganancia significativa, lo cual aumentara a medida de la aceptación del producto, debido a que es innovador en la región y mejora las características organolépticas de las carnes en la cocción a comparación del carbón natural.

CONCLUSIONES

Se concluye que la proporción de residuos más adecuada para la obtención de briquetas de olivo es cuando se compone de 5 % de hueso de aceituna, 5 % de orujo, 70 % de poda y 5 % de aglutinante, con esta formulación se obtiene un valor máximo de 6202,63 kcal/kg, así mismo el componente que más influye es la poda del olivo (p-valor <0,000), ello se debería a que este residuo contiene mayor cantidad de material lignocelulósico. De forma similar las briquetas de orégano compuesto en mayor cantidad por material lignocelulósico tienden a tener mejores indicadores.

Se analizó el poder calorífico de las briquetas obtenidas a partir de residuos del olivar, estas contenían orujo lavado (5779,7 kcal/kg) y orujo sin lavar (5784,02 kcal/kg), no presentaron diferencias estadísticas significativas (P valor = 0,9704), concluyendo que el lavado del orujo no influye en el poder calorífico. Por otra parte, el poder calorífico de las briquetas de orégano que resultó con el mejor valor fue 1823,41 kcal/kg.

Se determinó el nivel de CO₂ de las briquetas obtenidas a partir de residuos del olivar, resultando con un valor de 1431,51 ppm en muestras formuladas con orujo lavado y 1570,53 ppm en muestras formuladas con orujo sin lavar, al comparar estos no se encontraron diferencias estadísticas significativas (p-valor 1431,51), por lo que se concluye que el lavado no influye sobre la reducción del nivel de emisiones de CO₂. Respecto a las briquetas de orégano presentaron menor nivel de emisiones con un valor de 1075,77 ppm.

Se estableció que las características físicas de las briquetas en función del nivel de compresión, presentaron un máximo de $75 \pm 3,54$ bar antes de fracturarse cuando se emplea orujo sin lavado y un máximo de $73 \pm 2,89$ bar en briquetas formuladas con orujo lavado, estos dos tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas (p-valor = 0,0542), por su parte las briquetas de orégano fueron más frágiles al presentar un valor máximo de $31 \pm 1,15$ bar.

Se evaluó las muestras de carne cocidas con briquetas de residuos de orégano donde las puntuaciones en la prueba de preferencia por ordenamiento sensorial,

no resultaron significativas (Sig. = 0,97) al contrastar con muestras cocidas con briquetas de residuos de olivar y carbón natural.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que para una futura investigación se estudie formulaciones de briquetas de este tipo partiendo de la formulación óptima teórica encontrada en la presente investigación (5 % de hueso de aceituna, 5 % de orujo, 70 % de poda y 5 % de aglutinante), además de elaborar briquetas mezclando residuos de olivo y residuos de orégano, tomando en cuenta el aporte que tendrían entre las características presentadas en la investigación, realizando a su vez más análisis que complementen el estudio de este tipo de briquetas a partir de biomasa.

Se recomienda que, para mejorar el poder calorífico de las briquetas de residuos de orégano, se pueda incluir los tallos gruesos y reducir su tamaño, ya que su adición mejoraría el contenido de material lignocelulósico de la briqueta, lo que en suma podría mejorar su poder calorífico; y establecer la relación con mayores concentraciones de engrudo. Para proporcionar a su vez una larga vida útil realizar diluciones en este aglutinante de conservantes, ya que al ser un material de alto contenido de humedad al inicio del secado, es propenso a ser afectado por hongos.

Se recomienda que, para reducir el nivel de emisiones, tales como el CO₂, se estudien otras técnicas adicionales, tales como la incorporación de catalizadores que hagan más eficiente la combustión, así mismo hacer determinaciones CO, SO₂, NO₂ y comparar con las normativas que reglamentan dichas emisiones.

Para mejorar la compactación y por consiguiente aumentar la resistencia a la compresión, se recomienda emplear otro tipo de aglutinantes, como la cola de carpintería o cola blanca ya que existe en el mercado versiones no tóxicas de estos pegamentos, también es necesario adicionar otra fuente de celulosa a las briquetas de orégano para mejorar su resistencia, ya que al mantener la forma de aguja luego de la molienda, estas pasan el tamiz más pequeño, y al aglutinarse no compactan de manera uniforme, lo que causa su desmoronamiento más fácil que el otro tipo de briqueta.

Con la finalidad de emplearlas como briquetas aromáticas, se podrían evaluar la adición de otra fuente de residuos aromáticos a las briquetas de orégano, como filtros de infusiones, las cuales son usadas un par de veces y se descartan, se

podría estudiar dicho efecto con diferentes mezclas y concentraciones, ya que se encuentra prometedor el aporte que brindan durante la cocción.

Realizar un estudio de mercado para la introducción de este producto en tiendas o supermercados, además de su comercialización nacional e internacional, al ver la tendencia global de hoy en día, para utilizar energías sostenibles a partir de la biomasa, difundiendo el uso de estas briquetas desde un hogar doméstico hasta las más grandes factorías a las cuales sea conveniente el uso a gran escala de energía calorífica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alami, S. B. D. (2010). Aprovechamiento de hueso de aceituna: biosorción de iones metálicos (Doctoral dissertation, Universidad de Granada). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=63772>
- Al-Karany, R. A. K. (2013). Caracterización y Preparación de residuos de biomasa con ensayos experimentales de secado térmico y combustión no contaminante (Doctoral dissertation). <http://hdl.handle.net/10400.26/17064>
- Balseca-Sampedro, López-Ortiz, Viteri-Núñez, Analuisa-López y Hernández-Gavilanes (2018). Elaboración, caracterización y posibles aplicaciones de briquetas de residuos de café (Borra) como biocombustible sólido. Polo del Conocimiento; Vol 3, No 7. <http://dx.doi.org/10.23857/pc.v3i7.565>
- Berastegui, C., Ortega, J., Mendoza, J., González, Y., & Gómez, R. (2017). Elaboración de biocombustibles sólidos densificados a partir de tusa de maíz, bioaglomerante de yuca y carbón mineral del departamento de Córdoba. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 25(4), 643-653., <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052017000400643>
- Badii, M. H., Castillo Rodríguez, M., Wong, A., & Villalpando, P. (2017). Diseños experimentales e investigación científica. Innovaciones De Negocios, 4(8). <https://doi.org/10.29105/rinn4.8-5>
- Carbajal C. (2012). Estudio de la transformación química de la madera de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. <http://www.cnf.org.pe/Publicaciones/Transformacion%20quimica.pdf>
- Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia. (2000). Prevención de la contaminación en la producción de aceite de Oliva. Madrid: CAR/PL. Obtenido de <http://www.cprac.org>
- Conde Hardisson, F. J. (2008). Características químicas de emisiones procedentes de la combustión de biomasa, utilizada en el ahumado de alimentos. Universidad de La Laguna. <https://portalciencia.ull.es/documentos/5e3170302999523690ffdf1>

- Cong H., Lixin Zhao*, Ondřej Mašek, Zonglu Yao, Haibo Meng, Lili Huo, Yanwen Yuan, Jixiu Jia, Yunong Wu. (2020). Evaluating the performance of honeycomb briquettes produced from semi-coke and corn stover char: Co-combustión, emisión characteristics, and a value-chain model for rural china. *Journal of Cleaner Production* 2019, 244. 118770. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619336406>
- Cruz, C. y Bertha, M. (2018). Evaluación de Briquetas Obtenidas a Partir de Residuos de Poda del Olivo y Orujo de Aceituna como Fuente de Energía Alternativa. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/608>
- Driss, S. B. (2010). Aprovechamiento de hueso de aceituna, biosorción de iones metálicos (Tesis Doctoral). Universidad de Granada, Granada. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es>
- Fanárraga Lukuy, D. C., & Jihuallanca Sánchez, R. J. (2021). Elaboración de briquetas ecológicas a partir del hueso de la palta para reducir las emisiones de CO₂. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/80675/Fan%C3%A1rraga_LDC-Jihuallanca_SRJ-SD.pdf?sequence=1
- FAO, Departamento Forestal de la. (2012). Datos y cifras globales de productos forestales. Roma: División de Economía, Políticas y Productos Forestales FAO, 2012.
- Gallipoliti, V., Martina, P., Aeberhardt, R., & Sola, E. G. (2011). Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 35-40. <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/averma/article/view/2369>
- Guzmán O., Ambrosio Z. y Toledo G.(2016). Energías sustentables, la biomasa. ACMOR.
- Hernandez M. (2012). Tipo y niveles de investigación. <http://metodologiadeinvestigacionmarisol.blogspot.com/2012/12/tipos-y-niveles-de-investigacion.html>
- Izquierdo, L. I., Tanco, M., Viles, E., & Sánchez-Arjona, M. J. Á. (2007). El diseño de experimentos como herramienta para la mejora de los procesos. Aplicación de la metodología al caso de una catapulta. *Tecnura*, 10(20),

127-138.

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/6254>

Junta de Andalucía. (2010). Potencial energético de los subproductos de la industria olivarera en Andalucía. Andalucía: Secretaría general del medio rural y la producción ecológica. Obtenido de <https://www.juntadeandalucia.es>

Krvavica, M., Drinovac Topalović, M., Đugum, J. i Bešlija, S. (2018). Compuestos volátiles aromáticos de carne rostizada de Dalmacia producida por diferentes procesos de ahumado. MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu, 20. (5.), 418-418. <https://doi.org/10.31727/m.20.5.2>

López J., Cajina C., Ramírez J., Reyes E., Olivas N. y Molina 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. Nº 16.

Lucas A. y Taranco C. (2012). Materias primas. Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad.

Madruga, E. Combustibles sólidos de baja densidad. (Primera parte). Cuba: 1981 [Consulta: 17 mayo 2017]. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia13/HTML/articulo03.htm>

Mata, J. (2015). Optimización de metodologías para la caracterización de biocombustibles sólidos procedentes de la industria del olivar (Tesis Doctoral). Universidad de Córdoba, Córdoba. Obtenido de <https://helvia.uco.es>

Newell, g.j. y Macfarlane, J.D. (1987). Expanded tables for multiple comparison procedures in the analysis of ranked data. Journal of Food Science, 1987, vol. 52, no. 6, p. 1721-1725.

Ortega-Pérez, D. C., Bustamante-Rua, M. O., Gutiérrez-Rôa, D. F., & Correa-Espinal, A. A. (2015). Diseño de mezclas en formulaciones industriales. Dyna, 82(189), 149-156. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532015000100019

- Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y La Agricultura, FAO. 2014. Bioenergía y seguridad alimentaria evaluación (BEFS RA) - BRIQUETAS. s.l.: FAO, 2014, p. 20.
- Pinchi Ruiz, S. U. (2018). Cuantificación de emisiones de gases en la combustión de briquetas elaboradas a base de residuos de aserrín de capirona, cascarilla de arroz y residuos sólidos orgánicos.
- Pulido, H. G., De la Vara Salazar, R., González, P. G., Martínez, C. T., y Pérez, M. D. C. T. (2012). Análisis y diseño de experimentos. New York, NY, USA:: McGraw-Hill
- Ramírez-Navas, J. S. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. Revista ReCiTeIA. <https://acortar.link/WWhywi>
- Rivera Guitton, D. V. (2018). Determinación de la viabilidad del carozo de aceituna del valle del Algarrobal, como biocombustible sólido a través de sus propiedades físico, químico y energético. <https://cutt.ly/sTk8NXe>
- Shuma, R., & Madyira, D. M. (2019). Emissions Comparison of loose biomass briquettes with cow dung and cactus binders. *Procedia Manufacturing*, 35, 130-136.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919306493/pdf?md5=c80b712fa47602be0326d912e264056f&pid=1-s2.0-S2351978919306493-main.pdf>
- 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.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1883>
- Villalobos D. (2018). Evaluación sensorial de agrado por ordenamiento. <https://acortar.link/Tol2G>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADOR	METODOLOGÍA
<p>Problema general</p> <p>¿Cuáles son los efectos del pretratamiento de residuos de biomasa sobre el poder calorífico y nivel de emisiones de briquetas a partir de residuos del olivar y orégano?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar los efectos del pretratamiento de residuos de biomasa sobre su poder calorífico y nivel de emisiones de briquetas a partir de residuos del olivar y orégano</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>El pretratamiento de residuos de biomasa derivados del olivar y el orégano influye significativamente sobre el aumento del poder calorífico y disminución del nivel de gases de combustión/emisiones de briquetas</p>	<p>Variables independientes</p> <ul style="list-style-type: none"> Tamaño de partícula por residuo Relación orujo/residuos de poda/aglutinante Tiempo de lavado de orujo 	<p>Niveles de partícula (m)</p> <p>Porcentaje (%) de composición en relación a la formulación:</p> <ul style="list-style-type: none"> Orujo Hueso de aceituna Poda: Agglutinante Residuos de orégano <p>Lavado mecánico: 3 h</p>	<p>Nivel de investigación</p> <p>Experimental</p> <p>Tipo de investigación</p> <p>Investigación aplicada</p> <p>Parámetros de medición NTC – 2060 <i>Briquetas combustibles para uso Doméstico.</i></p> <p>Poder Calorífico: Método de Gouthal a partir de los análisis inmediatos Instituto del carbón Corrales (1953).</p>
<p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es la proporción de residuos más adecuada para la obtención de briquetas de olivo y orégano? ¿Cuál es el poder calorífico de las briquetas obtenidas a partir de residuos del olivar y orégano? 	<p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Formular la proporción de residuos de olivo y orégano más adecuada para la obtención de briquetas. Analizar el poder calorífico de las briquetas obtenidas a partir de residuos del olivar y orégano. 	<p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Existen una proporción conveniente que permite obtener de briquetas con características adecuadas El poder calorífico de las briquetas a partir de orujo y residuos de olivar cumple los criterios de normativa NTC 2060. 	<p>Variable dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> Poder calorífico 	<ul style="list-style-type: none"> KJ/kg 	<p>Análisis de características físicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Humedad: Norma ASTM D -1762 Cenizas: Norma ASTM D -1762 Material Volátil: Norma ASTM-D1762 Carbono Fijo: Norma ASTM D3172 <p>Diseño experimental</p> <p>Diseño de mezclas</p>

<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el nivel de gas de combustión (CO₂) de las briquetas obtenidas a partir de residuos del olivar y orégano? • ¿Cuáles son las características físicas de las briquetas obtenidas? • ¿Qué efectos sensoriales tienen las briquetas de residuo de olivar y orégano en la cocción de las muestras de carne? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el nivel de gas de combustión (CO₂) de las briquetas obtenidas a partir de residuos del olivar y orégano. • Establecer las características físicas de las briquetas obtenidas. • Evaluar el efecto sensorial que aportan las briquetas en la cocción de las muestras de carne. 	<ul style="list-style-type: none"> • El gas de combustión (CO₂) de las briquetas varían en función de su composición. • Las características físicas de las briquetas cumplen los criterios de normativa NTC 2060. • Las briquetas de residuo de olivo y orégano aportan un efecto sensorial en comparación con el carbón natural. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de gas de combustión (CO₂) • Resistencia a la compresión. • Evaluación sensorial 	<ul style="list-style-type: none"> • Ppm (CO₂) • Bar • Orden de preferencia 	
--	--	---	---	---	--

Anexo 2: Tabla de diferencia de sumatoria ordinal absoluta crítica de “todos los tratamientos”. Comparaciones al nivel de significancia del 5 %

<i>Jueces</i>	<i>Número de muestras</i>									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	6	8	11	13	15	18	20	23	25	28
4	7	10	13	15	18	21	24	27	30	33
5	8	11	14	17	21	24	27	30	34	37
6	9	12	15	19	22	26	30	34	37	42
7	10	13	17	20	24	28	32	36	40	44
8	10	14	18	22	26	30	34	39	43	47
9	10	15	19	23	27	32	36	41	46	50
10	11	15	20	24	29	34	38	43	48	53
11	11	16	21	26	30	35	40	45	51	56
12	12	17	22	27	32	37	42	48	53	58
13	12	18	23	28	33	39	44	50	55	61
14	13	18	24	29	34	40	46	52	57	63
15	13	19	24	30	36	42	47	53	59	66
16	14	19	25	31	37	42	49	55	61	67
17	14	20	26	32	38	44	50	56	63	69
18	15	20	26	32	39	45	51	58	65	71
19	15	21	27	33	40	46	53	60	66	73
20	15	21	28	34	41	47	54	61	68	75
21	16	22	28	35	42	49	56	63	70	77
22	16	22	29	36	43	50	57	64	71	79
23	16	23	30	37	44	51	58	65	73	80
24	17	23	30	37	45	52	59	67	74	82
25	17	24	31	38	46	53	61	68	76	84
26	17	24	32	39	46	54	62	70	77	85
27	18	25	32	40	47	55	63	71	79	87
28	18	25	33	40	48	56	64	72	80	89
29	18	26	33	41	49	57	65	73	82	90
30	19	26	34	42	50	58	66	75	83	92
31	19	27	34	42	51	59	67	76	85	93
32	19	27	35	43	51	60	68	77	86	95
33	20	27	36	44	52	61	70	78	87	96
34	20	28	36	44	53	62	71	79	89	98
35	20	28	37	45	54	63	72	81	90	99
36	20	29	37	46	55	63	73	82	91	100
37	21	29	38	46	55	64	74	83	92	102
38	21	29	38	47	56	65	75	84	94	103
39	21	30	39	48	57	66	76	85	95	105
40	21	30	39	48	57	67	76	86	96	106
41	22	31	40	49	58	68	77	87	97	107
42	22	31	40	49	59	69	78	88	98	109
43	22	31	41	50	60	69	79	89	99	110
44	22	32	41	51	60	70	80	90	101	111

Fuente: Newell G.J., MacFarlane J .D., *Expanded tables for multiple comparison procedures in the analysis of ranked data. J. Food. Sci.* 526(6) 1721-1725. 1987.



Anexo 3: Briqueteadora de acero; emite presión a través de un manómetro de 0 a 350 bar, instalado en una gata hidráulica de 10 toneladas.



Anexo 4: Briquetas compactadas; de residuo de olivar y orégano.



Anexo 5: Análisis de ceniza; realizada en una mufla a 450 °C por 2 h.



Anexo 6: Análisis de Humedad; 10 g de muestra de cada briqueta fue secada en estufa a 103 °C.



Anexo 7: Máquina de compresión; fabricada con madera de aguano, emite presión a través de un manómetro de 0 a 350 bar, instalado en una gata hidráulica de 10 toneladas.



Anexo 8: Briquetas como fuente calorífica de cocción, para carne bovina.



Anexo 9: Evaluación sensorial; a consumidores para prueba de preferencia por ordenamiento.



Anexo 10: Módulo de medición de CO₂; (sensor marca Bosch modelo BME 680).

Anexo 11. Costos de Producción y Rentabilidad

COSTO DE PRODUCCIÓN	RENTABILIDAD
$CP = MP + MOD + CI$ $CP = 3250 + 6400 + 750$ $CP = \text{S/. } 10\,400.00$	$R = \frac{VF - VP}{VP} \times 100\%$ $R = \frac{76625 - 11625}{11625} \times 100\%$ $R = 55\%$
<ul style="list-style-type: none"> • Materia Prima: Los residuos de orégano y olivo no tienen costo por el momento, el peso de aglutinante por saco de 25kg tiene un costo de S/125.00, siendo utilizado un 5% por briqueta; es decir 10g, lo cual un saco es proporcional a 2000 briquetas diarias. Total, para 26 días: S/3250.00. • Mano de obra directa: 1 operario de pesado y mezclado; 2 operarios encargados de briquetear, 1 operario encargado de secado y envasado, 1 jefe de planta y producción. En total 4 operarios con sueldo de S/1200.00 cada uno, 1 jefe de planta y producción con sueldo de S/1600.00. Total, mensual: S/ 6400.00. • Costos Indirectos: Molienda S/200.00, agua S/150, luz S/200.00 y productos de limpieza S/200.00. Total, mensual: S/750.00. 	<ul style="list-style-type: none"> • Productividad: Se producirían 52000 briquetas al mes teniendo una meta de fabricación de 2000 briquetas diarias por jornadas de 26 días cada mes. • Valor Presente (Inversión): Dos briquetadoras con un costo de S/375.00 cada una, una balanza digital Blackline Bd0001 Gris S/25.00, mesa de acero inoxidable S/450.00 y un costo de producción inicial de S/. 10400.00. Total, de inversión: S/. 11625.00. • Valor Futuro (Inversión+ Ganancia): La ganancia sería resultado de la venta de cada briqueta de 200g a S/1.25 lo cual es inferior al precio del carbón natural y la leña, dando un total mensual de S/ 65000.00 sumando la inversión S/. 11625.00, da un total mensual de S/. 76625.00.

Anexo 12. Análisis Fisicoquímicos

Formulación	Humedad (%)	Ceniza (%)	Material Volátil (%) $MV=((pi-pf)/pf)(100-H)$	Carbono fijo (%) $CF=100-(H+C+MV)$	Coefficiente (%) $A=MV/(MV+C)$	Poder Calorífico Superior (kcal/kg) $PCS=82CF+A(MV)$
1a	9,459	1,504	21,666	17,494	0,2433	1434,83
2a	10,778	1,740	13,834	15,740	0,1581	1290,91
3a	9,971	1,585	21,408	17,153	0,2420	1406,89
4a	10,683	1,996	11,546	15,006	0,1322	1230,76
5a	9,876	1,841	19,120	16,419	0,2166	1346,76
6a	10,792	2,000	15,075	15,372	0,1729	1260,81
7a	10,388	1,922	18,862	16,078	0,2151	1318,81
8a	10,266	1,659	14,675	16,081	0,1666	1318,88
9a	9,459	1,504	21,666	17,494	0,2433	1434,83
10a	10,778	1,740	13,834	15,740	0,1581	1290,91
11a	9,971	1,585	21,408	17,153	0,2420	1406,89
1b	9,587	1,504	21,666	17,494	0,2437	5519,25
2b	10,795	1,740	13,834	15,740	0,1582	6039,99
3b	10,067	1,585	21,408	17,153	0,2423	5494,35
4b	10,715	1,996	11,546	15,006	0,1323	6212,44
5b	9,924	1,841	19,120	16,419	0,2167	5671,54
6b	10,824	2,000	15,075	15,372	0,1729	5914,99
7b	10,417	1,922	18,862	16,078	0,2152	5645,57
8b	10,330	1,659	14,675	16,081	0,1667	6016,10
9b	9,523	1,504	21,666	17,494	0,2435	5524,50
10b	10,792	1,740	13,834	15,740	0,1582	6040,24
11b	10,020	1,585	21,408	17,153	0,2422	5498,17
1c	10,913	9,425	54,348	12,086	0,1209	1702,18
2c	11,138	9,475	59,683	12,449	0,1245	1823,42
3c	11,025	9,450	57,015	12,267	0,1227	1762,31

(a) Briquetas con orujo sin lavado, (b) briquetas con orujo lavado, (c) briquetas de residuos del orégano.