

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**



**DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO Y VELOCIDAD DE
COMBUSTIÓN DE BRIQUETAS ELABORADAS A BASE DE DESECHOS DE
CARBÓN VEGETAL EN TARIJA – BOLIVIA.**

Elaborado por:

ANDRES ALEXANDER ESPINOZA VIDAURRE

Tesis presentada a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Forestal.

Gestion 2025

TARIJA -BOLIVIA

VºBº

.....
Ing. Fidel Ibarra Martinez
PROFESOR GUÍA

.....
M.Sc. Ing. Milton Javier Caba Olguin
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
AGRÍCOLAS Y FORESTALES

.....
M.Sc. Ing. Víctor Enrique Zenteno López
VICEDECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
AGRÍCOLAS Y FORESTALES

APROBADA POR:

.....
M.Sc. Ing. Deimar Jesús Moreno Molina
TRIBUNAL

.....
Ing. Javier Ariel Castillo Gareca
TRIBUNAL

.....
M.Sc. Ing. Pedro Brozovich Farfán
TRIBUNAL

Hoja de advertencia

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del (la) autor (a).

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Fabiana Fátima Vidaurre Abapinta y Martin Vidaurre, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Su amor y sacrificio ha sido fundamentales en cada paso que he dado.

A mis tíos y tías, quienes siempre han estado a mi lado, brindándome su apoyo y aliento en los momentos más difíciles. En especial, dedico esta tesis a la memoria de Marco Vidaurre, quien desde el cielo ha iluminado mi camino y me ha enseñado los valores más importantes; el respeto, la perseverancia y la superación, su legado me recuerda que, a pesar de los tropiezos, nada es imposible si se tiene determinación y esfuerzo.

Finalmente, quiero dedicar este trabajo a una persona muy especial que siempre ha creído en mí y me ha brindado su apoyo incondicional en mi vida y me ha motivado a seguir adelante en cada desafío.

AGRADECIMIENTO

Antes de todo; agradezco a Dios por permitirme concluir un logro más en mi vida, por el inicio de muchos más y haberme guiado siempre.

A mis padres; un agradecimiento muy grande por apoyarme todos estos años.

A todos los docentes de nuestra facultad; por habernos compartido sus conocimientos para nuestra formación, siempre serán recordados con mucho sentimiento.

También agradecer al Ing. Joel Paco; por su predisposición hacia mi persona para disipar cualquier duda, GRACIAS de todo corazón a todos los que siempre me apoyaron.

RESUMEN

Esta investigación al ser una de la primeras realizadas en la ciudad de Tarija, sobre briquetas elaboradas con carbonilla y aserrín utilizando diferentes porcentajes de aglutinante de almidón de yuca para poder observar cuál es prototipo de briqueta adecuada para la elaboración, ofrecer una alternativa viable al uso de carbón vegetal. La importancia de las briquetas elaboradas con estos dos residuos, radica en los resultados obtenidos de las diversas pruebas realizadas, que consideran a las briquetas como una opción para reducir la contaminación de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, minimizar el desmonte y aprovechar los residuos que actualmente no reciben un tratamiento adecuado en nuestra ciudad.

Se realizaron pruebas para evaluar las propiedades físicas y el rendimiento de briquetas elaboradas con carbonilla (tamaño de partículas de 3 a 5 mm y 12% de humedad) y aserrín (0,05 mm, misma humedad). Las briquetas, de forma cilíndrica (8 cm de diámetro, 4,5 cm de altura, orificio de aireación de 1 cm), presentaron las siguientes características.

En la velocidad de combustión el primer prototipo alcanzó 93 °C en 40-45 minutos; el segundo, 94 °C en 30-35 minutos. La velocidad de combustión varía en la composición de briquetas en los porcentajes de materia y porcentaje de aglutinante de 1,8 g/min a 1 g/min para el primero; del segundo prototipo varía por la composición de los dos tipos de residuos en porcentajes y el aglutinante de 3,2 a 1,8 g/min para el segundo.

El primer prototipo tuvo una densidad de 1,072 a 1,089 g/cm³, mientras que el segundo osciló entre 1,088 y 1,090 g/cm³. Las briquetas con 10% de aglutinante mostraron alta resistencia a la friabilidad y un tiempo de combustión que aumentó con el porcentaje de aglutinante.

En cuanto al poder calorífico, el primer prototipo mostró valores de 2808 kJ/kg a 7826 kJ/kg, mientras que el segundo osciló entre 2839 kJ/kg y 5813 kJ/kg.

Los resultados indican que las briquetas de carbonilla y aglutinante de yuca son las más eficientes con un poder calorífico 5206,85KJ/kg, destacándose por su mayor poder

calorífico y resistencia. Dicha investigación proporciona una información sólida sobre elaboración de briquetas como una alternativa ecológica.

ÍNDICE

Dedicatoria

Agradecimiento

Resumen

Páginas

INTRODUCCIÓN.....	1
Justificacion.....	2
Hipotesis.....	3
Descripcion del problema.....	3
Planteamiento de problema.....	3
Objetivos:	3
Objetivo general:	3
Objetivos específicos:	4

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Biomasa.....	5
1.2. Origen y tipos de biomosas.....	5
1.2.1. Biocombustibles leñosos.....	5
1.3. Características físicas y químicas.....	6
1.3.1. Forma y Tamaño.....	6
1.3.2. Aspecto y Color.....	6
1.3.3. Humedad.....	6
1.3.4. Densidad.....	7

1.3.5. Composición química.....	7
1.3.6. Contenido Humedad.....	8
1.3.7. Porcentaje en cenizas.....	8
1.4. Determinación del poder calorífico de las briquetas de carbón.....	9
1.4.1. Poder calorífico.....	9
1.4.2. Tipo de poderes caloríficos.....	9
1.5. Briquetas.....	10
1.6. Fases de elaboración.....	10
1.7. Motivos de las briquetas.....	11
1.7.1. Friabilidad.....	11
1.8. Afectación de la fabricación de briquetas.....	12
1.8.1. Afectación sobre el Agua.....	13
1.8.2. Afectación sobre el Suelo.....	13
1.8.3. Afectación en la atmósfera por el material particulado (Gases de combustión y sus olores)	13
1.8.4. Afectación de ruido al momento de fabricar las briqueta.....	13
1.8.5. Afectación a los desechos sólidos.....	14
1.8.6. Afectaciones en los medios socio - económicos.....	14
1.9. Diferentes tamaños y formas de las briquetas.....	14
1.10. Selección de la muestra.....	16
1.11. Diseño de composición de briquetas.....	17
1.12. Forma y tamaño de briquetas.....	17
1.13. Proceso de fabricación.....	18

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.	Localización del área de estudio.....	19
2.2.	Descripción del área.....	20
2.3.	Materiales de campo.....	20
2.4.	Materiales de laboratorio.....	20
2.6.	Metodología.....	21
2.6.1.	Contenido de humedad.....	21
2.6.2.	Determinación de friabilidad.....	22
2.6.3.	Tiempo de ebullición de agua.....	23
2.6.4.	Consumo específico de combustible.....	23
2.6.5.	Velocidad de combustión.....	23
2.6.6.	Determinación del poder calorífico.....	24
2.6.7.	Identificación de variables.....	26
2.6.8.	Variables operacionales.....	27
2.7.	Análisis estadístico.....	29
2.7.1.	Determinación de la media.....	29
2.7.2.	Coeficiente de variación.....	29
2.7.3.	Estimación de la varianza.....	30
2.7.4.	Determinación de la desviación estándar.....	30

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.	Máquina de elaboración de briquetas especificaciones y diseño.....	32
3.1.1.	Descripción de la prensa hidráulica.....	32

3.1.2. Ventajas de la máquina.....	33
3.2. Elaboración de la materia.....	33
3.3. Densidad.....	34
3.4. Determinación del contenido de humedad.....	34
3.4. Determinación de la friabilidad.....	41
3.5. Determinación de la combustión.....	51
3.6. Determinación de tiempo de ebullición del agua.....	52
3.7. Consumo específico de combustión.....	55
3.7.1 Consumo específico de briquetas de carbonilla y aserrín.....	57
3.7.2. Velocidad de combustión.....	57
3.7.3 Velocidad de combustión de briquetas de carbonilla.....	58
3.7.4. Velocidad de combustión de briquetas de carbonilla y aserrín.....	59
3.8. Determinación del poder calorífico.....	59
3.9 Determinación de ceniza.....	65
3.10. Caracterización de briquetas	67
3.11. Discusión.....	69

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones	72
4.2. Recomendaciones.....	73
Bibliografía.....	75
ANEXO.....	76

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 1 Tipos de biomasa	5
Imagen N° 2 Determinación del contenido de humedad.....	7
Imagen N° 3 Ecuación de contenido de humedad.....	8
Imagen N° 4 Componentes de las briquetas.....	11

ÍNDICE DE MAPA

Mapa 1 Mapa de ubicación.....	19
--------------------------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Valoración de las afectaciones al medio ambiente en la fabricación de las briquetas.....	12
Tabla N° 2 Formas y tamaños de briquetas.....	15
Tabla N° 3 Composición de Briquetas.....	17
Tabla N° 4 Variables operacionales.....	24
Tabla N° 5 Parte de las prensas artesanal.....	29
Tabla N° 6 Materiales elaboración de las briquetas.....	31
Tabla N° 7 Determinación del peso húmedo.....	32
Tabla N° 8 Determinación del peso seco.....	33
Tabla N° 9 Determinación del contenido de humedad.....	34
Tabla N° 10 Determinación del peso húmedo.....	35
Tabla N° 11 Determinación del peso seco.....	36
Tabla N° 12 Determinación de contenido de humedad.....	37
Tabla N° 13 Determinación de la friabilidad briquetas de carbonilla.....	38
Tabla N° 14 Porcentaje de fragmentación.....	41
Tabla N° 15 Determinación de la friabilidad briquetas de carbonilla y aserrín.....	42
Tabla N° 16 Porcentaje de fragmentación.....	44
Tabla N° 17 Índice de friabilidad briquetas de carbonilla.....	45
Tabla N° 18 Índice de friabilidad briquetas de carbonilla y aserrín.....	46
Tabla N° 19 Tiempo de quemado de briquetas.....	47
Tabla N° 20 Tiempo de ebullición briquetas de carbonilla.....	49

Tabla N° 21	Tiempo de ebullición briquetas de carbonilla y aserrín.....	50
Tabla N° 22	Consumo específico de briquetas de carbonilla con aglomerante de almidón de yuca.....	51
Tabla N° 23	Consumo específico de briquetas de carbonilla y aserrín.....	52
Tabla N° 24	Velocidad de combustión de briquetas de carbonilla.....	53
Tabla N° 25	Velocidad de combustión de briquetas de carbonilla y aserrín.....	54
Tabla N° 26	Determinación de ceniza briquetas de carbonilla y aglutinante.....	61
Tabla N° 27	Determinación de ceniza briquetas de carbonilla, aserrín y aglutinante...	61
Tabla N° 28	Características de las briquetas de carbonilla y aglutinante de yuca.....	62
Tabla N° 29	Características de las briquetas de carbonilla, aserrín y aglutinante de yuca.....	63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Determinación del poder calorífico briquetas de carbonilla y aglutinante...	59
Gráfico 2	Determinación del poder calorífico carbonilla y aglutinante.....	59
Gráfico 3	Determinación del poder calorífico carbonilla, aserrín y aglutinante.....	61
Gráfico 4	Determinación del poder calorífico carbonilla, aserrín y aglutinante.....	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1 Determinación del contenido de humedad de fabricación de briquetas por porcentaje de aglutinante.....	79
Anexo N° 2 Determinación del contenido de humedad de fabricación de briquetas por porcentaje de aglutinante.....	80
Anexo N° 3 Determinación del contenido de humedad de fabricación de briquetas por porcentaje de aglutinante.....	81
Anexo N° 4 Determinación del contenido de humedad de fabricación de briquetas por porcentaje de aglutinante.....	82
Anexo N° 5 Determinación del contenido de humedad de fabricación de briquetas por porcentaje de aglutinante.....	83
Anexo N° 6 Determinación del contenido de humedad de fabricación de briquetas por porcentaje de aglutinante.....	84
Anexo N° 7 Determinación del contenido de humedad de fabricación de briquetas de carbonilla y aserrín por porcentaje de aglutinante.....	85
Anexo N° 8 Determinación del contenido de humedad de fabricación de briquetas de carbonilla y aserrín por porcentaje de aglutinante.....	86
Anexo N° 9 Determinación del contenido de humedad de fabricación de briquetas de carbonilla y aserrín por porcentaje de aglutinante.....	87
Anexo N° 10 Determinación del contenido de humedad de fabricación de briquetas carbonilla y aserrín por porcentaje de aglutinante de fabricación.....	88
Anexo N° 11 Determinación del contenido de humedad de fabricación briquetas carbonilla y aserrín por porcentaje de aglutinante.....	89
Anexo N° 12 Determinación del contenido de humedad de fabricación. briquetas carbonilla y aserrín por porcentaje de aglutinante.....	90

Anexo N° 13 Determinación del poder calorífico (97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca).....	91
Anexo N° 14 Curva de calibración (97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca).....	91
Anexo N° 15 Determinación del poder calorífico (95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca).....	92
Anexo N° 16 Curva de calibración (95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca).....	92
Anexo N° 17 Determinación del poder calorífico (92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca).....	93
Anexo N° 18 Curva de calibración (92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca).....	93
Anexo N° 19 Determinación del poder calorífico (90% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca).....	94
Anexo N° 20 Curva de calibración (90% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca).....	94
Anexo N° 21 Determinación del poder calorífico (87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca).....	95
Anexo N° 22 Curva de calibración (87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca).....	95
Anexo N° 23 Determinación del poder calorífico (85% de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca).....	96
Anexo N° 24 Curva de calibración (85% de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca).....	96
Anexo N° 25 Determinación del poder calorífico (48.75 % de carbonilla + 48.75 aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca).....	97

Anexo N° 26 Curva de calibración (48.75 % de carbonilla + 48.75 aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca).....	97
Anexo N° 27 Determinación del poder calorífico (47.5 % de carbonilla + 47.5 aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca).....	98
Anexo N° 28 Curva de calibración (47.5 % de carbonilla + 47.5 aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca).....	98
Anexo N° 29 Determinación del poder calorífico (46.25 % de carbonilla + 46.25 aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca).....	99
Anexo N° 30 Curva de calibración (46.25 % de carbonilla + 46.25 aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca).....	99
Anexo N° 31 Determinación del poder calorífico (45 % de carbonilla + 45 aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca).....	100
Anexo N° 32 Curva de calibración (45 % de carbonilla + 45 aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca).....	100
Anexo N° 33 Determinación del poder calorífico (43.75% de carbonilla + 43.75 aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca).....	101
Anexo N° 34 Curva de calibración (43.75% de carbonilla + 43.75 aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca).....	101
Anexo N° 35 Determinación del poder calorífico (42.5 % de carbonilla + 42.5 aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca).....	102
Anexo N° 36 Curva de calibración (42.5 % de carbonilla + 42.5 aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca).....	102