

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En Bolivia, la principal fuente de residuos forestales proviene de la industria de transformación primaria de la madera. La mayor parte de los troncos de árboles talados se destina a la fabricación de muebles artesanales, productos laminados, en algunas regiones, a la producción de carbón vegetal a partir de diversas especies.(Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad.pdf, s. f.)

En estos últimos años en Bolivia existen varias empresas que fabrican carbón vegetal y muebles artesanales, los cuales cuentan con muchos desechos secundarios de madera, donde esos desechos no son utilizados, por ende en estos años se busca generar alternativas bioenergéticas que sean aprovechadas con estos residuos y ver el rendimiento de la elaboración de las briquetas como una alternativa bioenergética de combustión, la compactación de estos residuos forestales que se intenta sustituir a la leña tradicional, considera como un producto 100% ecológico.(Guevara S, 2022)

Esta alternativa bioenergética se puede realizar de residuos vegetales (poda, desyerbe y otros), aserraderos la extracción de viruta, aserrín también se realizan la fabricación de briquetas con carbonilla de carbón, aglutinantes como almidón de yuca.(García E. et al, 2018)

En estos últimos años en Bolivia se logró identificar grandes zonas afectadas por el desmonte donde se evidenció muchos residuos sin ser utilizados de esta forma se intenta dar una alternativa de uso para reducir el impacto que se genera por el desmonte.

En el departamento de Tarija; existen varias zonas donde cuentan con muchos desechos de materia prima como ser aserrín, viruta y residuos de carbonillas dicho proyecto se enfoca en disminuir la deforestación de árboles con fines de producción de diferentes prototipos de briquetas, dicho trabajo se realizó en el Laboratorio de Tecnología de la Madera, de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales-UAJMS.

CAPÍTULO I
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

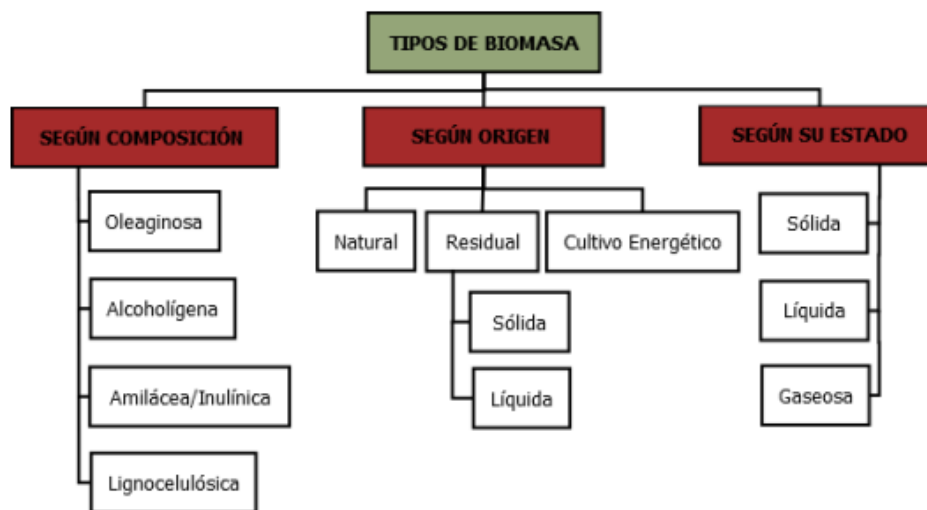
1.1. Biomasa

Se define biomasa como la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura y de las industrias conexas.(Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad.pdf, s. f. 2015)

1.2. Origen y tipos de biomasa

La biomasa como una fuente de energía que comprende la utilización de toda una gama de productos derivados (biocombustibles) de diversas naturalezas (sólido, líquido, gaseoso), y que pueden tener aplicación en todos los campos de utilización de los combustibles fósiles.

Imagen N° 1 Tipos de biomasa



Fuente:(Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad.pdf, s. f. 2015)

1.2.1. Biocombustibles leñosos

Son clasificados en:

- Sólidos (aserrín, viruta, carbón, pellets, briquetas, etc.),

- Líquidos (licor negro, metanol, etc.)
- Gaseoso (productos derivados de la gasificación).

Estos pueden obtenerse de bosques, plantaciones, subproductos de la industria maderera y productos usados (madera de construcción recuperada, papel usado, etc.).(Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad.pdf, s. f. 2015)

1.3. Características físicas y químicas

Las briquetas son un biocombustible que en la actualidad se desconoce su utilidad y en algunos casos no saben de su existencia, a pesar de que desde hace siglos se las ha utilizado a nivel mundial. Las características pueden ser muy variadas, dependerá del objetivo y de la maquinaria que se utilizará para obtener este producto, las briquetas pueden presentar una forma cilíndrica, cuadrada, rectangular, etc. (Pavón Bastidas, 2019)

1.3.1. Forma y Tamaño

Por lo general las briquetas poseen una forma muy variada, pero en la actualidad las más utilizadas son de forma cilíndrica, aunque también pueden ser de otras formas como: prismática hexagonal, prismática rectangular, prismática octogonal. Se las encuentran en un diámetro superior a los 5cm, con una longitud que varía entre los 4 cm y 15 cm. (David Salcedo Vera, 2021)

1.3.2. Aspecto y Color

En el caso del color se puede deducir que tendrá una estrecha relación con el tipo de material vegetal lignificado (aserrín) y con el tipo de aglutinante (cola blanca, látex, melaza, almidón, etc.) que se utilice para la elaboración de la briqueta, en otras palabras, el color del producto lo proporcionará los residuos de la especie con la que se desee elaborar este combustible. (Pavón Bastidas, 2019)

1.3.3. Humedad

En este tipo de materia prima su humedad no debe ser excesivamente elevada, ya que esto genera puntos de disminución en la biomasa del 8 – 10%, en el caso que esto ocurra

la materia prima tendrá ciertos grados de humedad, ocasionando que el agua rompa la briqueta, así que la mejor solución es que las briquetas no absorban ninguna cantidad de humedad. (García E et al., 2018)

1.3.4. Densidad

En el caso de la densidad de la briqueta, primero se debe tener en cuenta que ésta, está constituida por biomasa de baja densidad. Es por esto que es necesario compactarla para reducir el espacio entre la partícula que la conforman. En esta característica se puede argumentar que la densidad que poseerá la briqueta dependerá de los materiales que se utilice, en este caso el tipo de aglutinante tendrá mucho protagonismo para definir esta característica, ya que se deberá tener en cuenta la composición del aglutinante a utilizar antes de proceder con el proceso de braquiación. Se debe tener en cuenta las proporciones de aserrín – aglutinante, a utilizar; ya que las proporciones empleadas no pueden ser las más idóneas y resulte un producto sin reacción a la combustión. (Pavón Bastidas, 2019)

Imagen N° 2 Determinación del contenido de humedad

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Fuente:(Pavón Bastidas, 2019)

1.3.5. Composición química

Los diferentes tipos de biomasa están formados por una parte orgánica, una inorgánica y agua. Durante la combustión, se quema la parte orgánica, la inorgánica influye en el proceso de combustión y forma la ceniza o residuo sólido.

La composición química de la biomasa original se puede conocer realizando análisis de los elementos más importantes, como carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), azufre (S), y en algunos casos cloro (Cl). También contiene oxígeno (O), pero este elemento no se determina directamente, sino que se calcula a partir de la diferencia

entre el peso total y la suma del resto de elementos más las cenizas.(Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad.pdf, s. f. 2015)

1.3.6. Contenido Humedad

En este tipo de materia prima su contenido de humedad no debe ser excesivamente elevada, ya que esto genera puntos de disminución en la biomasa del 8 – 10%, en el caso que esto ocurra la materia prima tendrá ciertos grados de humedad, ocasionando que el agua rompa la briqueta, así que la mejor solución es que las briquetas no absorban ninguna cantidad de humedad.

La humedad de la biomasa puede medirse en base seca (h) o en base húmeda (H), ya que se puede considerar el peso húmedo de la leña húmeda (Ph) y el peso seco (Po) obtenido al pesar la leña tras ser secada en una estufa, para evaporar el agua presente.(García Escalona et al., 2018)

Imagen N° 3 Ecuación de contenido de humedad

$$h = \frac{P_h - P_o}{P_o} \qquad H = \frac{P_h - P_o}{P_h}$$

Fuente:(Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad.pdf, s. f. 2015)

Cuanto menor sea este contenido mejor será el valor calorífico de esa biomasa y su proceso de combustión, ya que cuando se quema la biomasa, primero hay que evaporar el agua antes de que el calor esté disponible. La mayoría de los procesos de conversión energética requieren valores de humedad relativa inferiores al 30%. Con valores superiores se hace necesaria la implementación de operaciones de acondicionamiento y secado previos al proceso de conversión de energía. (Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad.pdf, s. f. 2015)

1.3.7. Porcentaje en cenizas

Indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de materia prima. Conviene que su porcentaje en relación a la materia seca sea el menor posible.(Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad.pdf, s. f. 2015)

1.4. Determinación del poder calorífico de las briquetas de carbón

1.4.1. Poder calorífico

Es una cierta cantidad de energía que se separa cuando existe una reacción de combustión. Así, “el poder calorífico es la característica fundamental de un combustible, el cual lo define como tal, se sabe que el poderío del calor nos va a indicar que si son buenos o talvez malos combustibles; cabe recalcar que el poder calorífico depende única y esencialmente de la composición química del comburente. Para el caso de las briquetas, el poderío está en función al material del cual va a estar formado o fabricado. Si suponemos que las briquetas de carbón están conformadas de madera sin ningún tipo de aditivos; entonces, esto nos quiere decir que su poder calorífico será igual al tipo de madera que la conforma”. (Guzmán et al., 2017)

1.4.2. Tipo de poderes caloríficos

Como ya se ha mencionado el poder calorífico es una de las principales características de un combustible, el cual se define como la cantidad de energía (kJ o Kcal) que produce la combustión de 1 kilogramo del mismo (Portillo, 2018). El poder calorífico de un mismo combustible no cambia de valor; sin embargo, existen diferentes formas de medir el calor generado al arder. En la práctica se ha definido dos valores: poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI). (Pavón Bastidas, et. al, 2019)

- Poder calorífico superior (PCS): es la cantidad de calor producido en el proceso de combustión, en el que se incluye el calor de la condensación del vapor de agua originado en la combustión, aquí se toma en cuenta el calor latente. El poder calorífico superior (PCS) también es llamado poder calorífico bruto.
- Poder calorífico inferior (PCI): es la cantidad de calor producido en el proceso de combustión el cual se obtiene restando el PCS de condensación o calor latente, es decir que el valor se obtiene sin condensación de los vapores. El poder calorífico inferior (PCI) también es llamado poder calorífico neto.

1.5. Briquetas

Es un conjunto de mezcla de distintas sustancias orgánicas que tienen una forma cuadrangular o circular. Es un término a veces confuso, ya que puede estar fabricada con muy diversos materiales compactados, así la materia prima de la briqueta puede ser biomasa forestal procedentes de residuos de fábricas de la madera como aserraderos, fábrica de puertas, fábrica de muebles, y biomasa residual industrial o urbana, o simplemente una mezcla de todas ellas. Las características de las briquetas es su alta densidad, su forma puede ser cilíndrica o no siempre puede ser así ya que hay briquetas de diferente forma.

Esta terminación es una expresión algo desordenada, ya que briqueta puede estar conformada o fabricada con uno o más materiales ligeramente compactados (residuos de biomasa). La base fundamental de las briquetas puede estar conformada de material forestal, biomasa residual industrial, biomasa residual urbana, carbón vegetal o simplemente una mezcla de todas ellas.

La fabricación de briquetas más empleadas es la que está hecha de aserrín, no llegan a emplear ningún tipo de aglomerante ya que la humedad y la propia lignina de la madera funcionan como adhesivo natural. Así, “Las briquetas o leñitas son una fuente de energía calorífica cambiante, ya que son sistematizados como bioenergía sólida que tiene la utilidad como biocombustible en diferentes actividades como en calderas, hornos, parrillas, cocinas, etc. Estos sobrantes de biomasa compactas son empleados en diferentes usos como cocinas, calefacción y uso industrial como cementeras, ladrilleras metalurgias, tostadores, secadores, y demás procesos que consumen grandes cantidades de madera. (Pavón Bastidas et. al, 2019)

1.6. Fases de elaboración

Se constituye de tres etapas fundamentales para la elaboración de las briquetas donde se realiza la evaluación de los parámetros físicos y químicos de las briquetas las cuales son las siguientes:

- Etapa de elaboración de las briquetas.

- Etapa de pre evaluación.
- Finalizando con la etapa de evaluación.

1.7. Motivos de las briquetas

Revalorizar distintos desperdicios orgánicos en estado sólido, produciendo calor mediante la combustión.

- Sustituir los combustibles sólidos fósiles.
- Eliminar todos los residuos sólidos que son muy variables.

Al fabricar estas briquetas se reducen los problemas de erosiones del suelo, de su desertización y la degradación que se tiene en los bosques, mejorando así la salud, al proporcionar una combustión limpia. Además de ellos se busca la manera de crear más microempresas que se dediquen a la recolección de los materiales que favorecen la fabricación de briquetas.(Guzmán et. al, 2017)

Imagen N° 4 Componentes de las briquetas



Fuente: (David Salcedo Vera, 2021)

1.7.1. Friabilidad

Es necesario estudiar esta característica ya que las briquetas a diferencia de las leñas y las astillas poseen densificación de partículas finas que pueden llegar a romperse al momento que estos biocombustibles son manipulados o trasladados al almacenamiento. (García Escalona et al., 2018)

1.8. Afectación de la fabricación de briquetas

Según (David Salcedo Vera, 2021) las briquetas son bloques sólidos que generan calor al momento de utilizarlas en estufas, en chimeneas, en hornos o en las calderas, las briquetas al fabricarse ayudan al medio ambiente ya que al momento que se las pone en el horno para su proceso no genera contaminación al medio ambiente y adicional es un proceso natural. En cada actividad propia que se realiza durante el proyecto, se identifican ciertas interacciones positivas a los componentes ambientales de mayor impacto. La tabla 1 presenta las valoraciones de las afectaciones en la fabricación de las briquetas, según

Tabla N° 1 Valoración de las afectaciones al medio ambiente en la fabricación de las briquetas

Criterio	Afectación al medio ambiente en la fabricación de briquetas
Alteracion o Modificacion de la materia prima	Alta
Impacto al medio ambiente	Media
Combustion con relacion al carbon	Baja

Fuente: (David Salcedo Vera, 2021)

En la tabla 1 se observa una valoración sobre la fabricación de las briquetas, donde se plantean tres condiciones importantes, tales como categoría de alteración, si son significativos y la duración del producto, así mismo se establece si esos aspectos son positivos, negativos o equitativos asignando una escala entre alta, media y baja. La segunda columna se está calificando las condiciones del producto los cuales tenemos regular y medio, la última columna es equitativo; la cual se califica las relaciones de cada una de las condiciones que se da un valor de 0 a 3; se califica las relaciones

establecidas que son poco en alteración de la elaboración del producto ya que todo proceso es natural, se lo califica como bajo.(David Salcedo Vera, 2021)

1.8.1. Afectación sobre el Agua

Las afectaciones que experimenta el agua al momento de la fabricación de las briquetas son muy leves, debido a que los residuos que recibe el agua son muy bajos, lo cual permite sea reutilizada mediante tanques de tratamiento, y así pueda alimentar de nuevo a la planta o volver a ser reutilizada en el proceso de la elaboración. (David Salcedo Vera, 2021)

1.8.2. Afectación sobre el Suelo

En cuanto al impacto de afectación al suelo: se puede decir que este es mínimo, ya el agua utilizada en el proceso de fabricación es almacenada en cajas receptoras donde se las procesa llegando al suelo de manera filtrada y limpia, se podría decir que no contaminan el suelo, creando así un bajo impacto negativo.(David Salcedo Vera, 2021)

1.8.3. Afectación en la atmósfera por el material particulado (Gases de combustión y sus olores)

Al momento de producir las briquetas se generan efectos tanto en la carga y descarga que posee el carbón vegetal, pero el impacto aun así sigue siendo de baja magnitud ya que se encuentran realizadas en instalaciones que cumplen los límites de las Normas de polución tomando las medidas necesarias y recomendadas de corta duración. (David Salcedo Vera, 2021)

1.8.4. Afectación de ruido al momento de fabricar las briquetas.

Los niveles de ruido que existen en las máquinas de presión, son de una estimación baja tanto en las entradas y salidas de las briquetas, produciendo un impacto negativo y de perturbación de nivel mínimo, lo cual en la planta o en las instalaciones no perturbarán a los trabajadores, aunque por seguridad y siguiendo las normas es importante la utilización de tapones auditivos, pero no de manera permanente. (David Salcedo Vera, 2021)

1.8.5. Afectación a los desechos sólidos

Los residuos sólidos como: el cartón, el papel, el carbón, entre otros, que son utilizados en pocas cantidades, son desechos que, si no se realiza una adecuación filtración de limpieza, llegarían afectar a los sistemas de alcantarillado generando un impacto negativo de media importancia, y duración corta. (David Salcedo Vera, 2021)

1.8.6. Afectaciones en los medios socio - económicos.

Internamente en las empresas de fabricación se requiere de amplias medidas de prevención por parte del personal que trabaja en las plantas de operaciones, se debe tener un adecuado sistema de seguridad y permanente capacitación, evitando así accidentes laborales ya que, si no se toman todas estas medidas, generarían un impacto negativo de alta importancia y de media duración en dicho establecimiento. (David Salcedo Vera, 2021)

1.9. Diferentes tamaños y formas de las briquetas

Cada briqueta suele ser variable, ya que depende de una máquina para poder fabricarla y que normalmente son prensas de tornillo. Estas dejan un orificio dentro de su interior, conllevándolo a un mayor enlace entre el espacio de la superficie y su volumen. (Mosquera Silven, 2014). La mayoría de las briquetas se encuentran fabricadas de forma cilíndrica, aunque también tienen otras formas como rectangulares, cuadradas, etc.(David Salcedo Vera, 2021)

Tabla N° 2 Formas y tamaños de briquetas

Tipos de briquetas		Tamaños de Briquetas	
Cilíndricas		Unidad	Dimensiones
	Diámetro	2 y 20 cm	
	Longitud	15 y 50 cm	
Prisma Hexagonal		Unidad	Dimensiones
	Diámetro (cm)	9,0 cm	
	Longitud (cm)	15 cm	
Prisma Rectangular		Unidad	Dimensiones
	Diámetro (cm)	5 cm	
	Longitud (cm)	3,6 a 11 cm	
Prisma Cuadrado "Comido en las esquinas"		Unidad	Dimensiones
	Diámetro (cm)	Entre 12 y 15 cm	
	Longitud (cm)	Entre 6 y 9 cm	
Prisma ortogonal		Unidad	Dimensiones
	Diámetro (cm)	6,2 cm	
	Longitud (cm)	1,5 cm	
Prisma Rectangular "comido en las esquinas"		Unidad	Dimensiones

	Diámetro (cm)	13 cm
	Longitud (cm)	10 cm
1/4 de cilindro	Unidad	Dimensiones
	Diámetro (cm)	10 cm
	Longitud (cm)	20 cm.
Briquetas de carbón en cubo de residuos en bolsas	Unidad	Dimensiones
	Diámetro (cm)	10 cm
	Longitud (cm)	13cm

Fuente: (David Salcedo Vera, 2021)

1.10. Selección de la muestra

Se utilizó carbonilla con un tamaño de partículas de 3 a 5 mm, así como aserrín de 0,05 mm con las mismas condiciones de humedad para la elaboración de la briqueta es de forma cilíndrica de 8 cm con un orificio de aireación de 1cm, una altura de 4.5 cm.

1.11. Diseño de composición de briquetas

Tabla N° 3 Composición de Briquetas

1.12. Forma y tamaño de briquetas

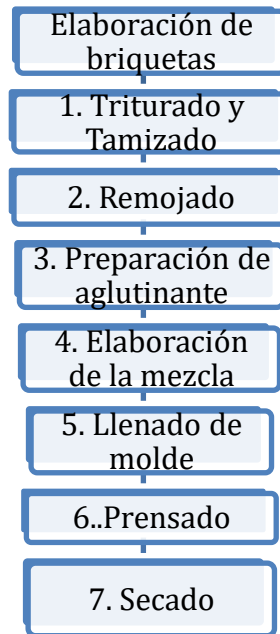
Cantidad	Carbonilla	Aserrín
	30 unidades.	30 unidades.
Briquetas con aglutinante almidón de yuca por porcentaje	97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca.	48.75 % de carbonilla + 48.75 aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca.
	95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca.	47.5 % de carbonilla + 47.5 aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca.
	92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca.	46.25 % de carbonilla + 46.25 aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca
	90% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca.	45 % de carbonilla + 45 aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca.
	87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca.	43.75% de carbonilla + 43.75 aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca.
	85% de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca.	42.5 % de carbonilla + 42.5 aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca.

Para la fabricación de las briquetas existen muchas formas y tamaños en gran parte suelen ser cilíndricas con un agujero circular en el centro que ayuda que la combustión sea más rápida, para dicho estudio se elaboró las briquetas con los criterios de forma cilíndricas con una altura de 4.5 cm con un diámetro de 8 cm y un orificio de aireación de 1cm.

1.13. Proceso de fabricación

Para el proceso fabricación de los dos diferentes prototipos de briquetas tenemos que contar con las siguientes características para su elaboración como se puede observar a la imagen (4) para la elaboración de las briquetas.

Imagen 1 Proceso para la fabricación de briquetas



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

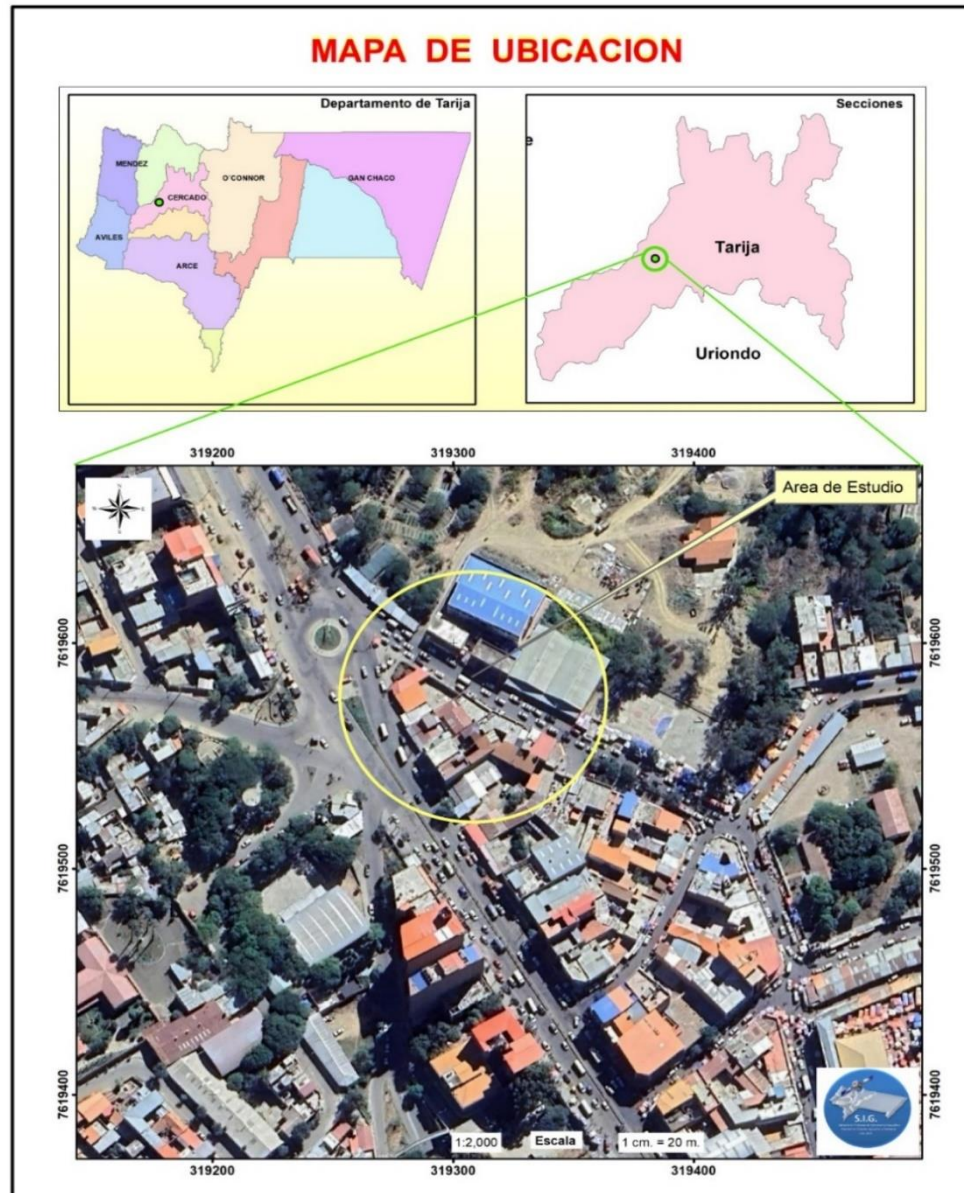
MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización del área de estudio

Mapa 1 Mapa de ubicación



Fuente: Elaboración propia

2.2. Descripción del área

El área de estudio se ubica en el Distrito 5 "Mercado Campesino, Provincia Cercado", en el departamento de Tarija con coordenadas geográficas (X) 319300 y (Y) 7619600.

En esta región, se llevó a cabo la adquisición de carbonilla para la fabricación de briquetas, así como la compra de residuos de madera (aserrín) provenientes de barracas locales. Estos materiales se utilizarán en el desarrollo de prototipos de briquetas, con el propósito de llevar a cabo un análisis exhaustivo sobre la determinación del poder calorífico, velocidad de combustión que emana de los diferentes prototipos.

2.3. Materiales de campo

- Aserrín
- Residuos de carbón (carbonilla)
- Aglutinante de Yuca
- Agua
- Licuadora
- Baldes
- Moldes de briquetas
- Pisón manual
- Cámara fotográfica
- Lápiz
- Flexómetro
- Planillas

2.4. Materiales de laboratorio

- Horno calibrado
- Mechero de alcohol
- Gata hidráulica presión 3 Toneladas
- Termómetro digital
- Balanza

- Horno de secado.
- Frasco metálico de prueba

2.5. Material de escritorio

- Computadora
- Impresora
- Planillas

2.6. Metodología

La presente investigación es de tipo descriptivo, porque se recopila información de las variables para luego analizar el contenido de humedad y poder calorífico, también las emisiones que las briquetas realizan por la combustión.

El presente trabajo se realizó en base a las normas técnicas colombianas (NTC 2060), donde se complementa con otras normas técnicas del mismo país para cumplir con los objetivos planteados, ya que actualmente se desconoce de trabajos y normas técnicas en nuestro país para la elaboración de briquetas.

2.6.1. Contenido de humedad

Para la determinación del contenido de humedad se hace secar la briketa en el horno de secado desde 80 ° C hasta llegar a 120 ° C, se hace el control de peso y medidas por el lapso de 3 días hasta donde se determinó un contenido de humedad del 12%

2.6.1.1. Fórmula de cálculo

Para la determinación de la humedad se utilizó la formula del contenido de humedad con relación al peso húmedo:

$$CH\% = \frac{Ph - Ps}{Ph} * 100$$

Donde:

CH= Contenido de humedad

Ph= Peso húmedo de la briqueta

Ps= Peso seco de la briqueta

2.6.2. Determinación de friabilidad

Se efectúa de acuerdo con la NTC 2060

2.6.2.1. Método de ensayo

La friabilidad es una variable importante en las briquetas por el manipuleo constantes- según la Real Academia de la Lengua, un material friable se desmenuza fácilmente por la manipulación de las briquetas.

2.6.2.2. Procedimiento

Para evaluar la friabilidad de las briquetas, se utilizó el método de rompimiento por caída según la norma NTC 2060, que consiste en dejar caer sobre suelo cerámico, desde una altura de 1 m, un número determinado de briquetas y contar el número de las mismas que se rompen en 2, 3, 4, 5 o más trozos, y obtener a partir de esos resultados un índice de friabilidad FR. Este método siendo el más sencillo.

El índice de friabilidad FR está dado por:

$$FR = \frac{NF}{NI}$$

Donde:

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

NI= Número de briquetas al inicio del ensayo.

El valor de índice FR siempre es mayor o igual a 1, a mayor valor la friabilidad y por tanto menor la resistencia al golpeo.

2.6.3. Tiempo de ebullición de agua

2.6.3.1. Procedimiento

Para la determinación del tiempo de ebullición de agua se hizo hervir 2 litro de agua con las briquetas con los diferentes porcentajes de aglutinantes de almidón de yuca.

2.6.3.2. Fórmula

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

$$Tiempo\ de\ ebullición = T_f - T_i$$

Donde:

Ti= Tiempo inicial de la prueba (min)

Tf= Tiempo final cuando el agua inicia su punto de ebullición (min)

2.6.4. Consumo específico de combustible

Se efectúa de acuerdo con la NTC 2060.

2.6.4.1. Procedimiento

Para obtener el consumo específico de combustible se pesó las briquetas antes de ser utilizadas y luego se pesó los residuos que quedaron después de la prueba.

2.6.4.2. Formula

Se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$CE = PI - PF$$

Donde:

PI= Peso inicial de las briquetas (gr)

PF= Peso final del residuo obtenido (gr)

2.6.5. Velocidad de combustión

Se efectúa de acuerdo con la NTC 2060.

2.6.5.1. Procedimiento

Se determina la velocidad de combustión tomando en cuenta el consumo específico y tiempo de ebullición.

2.6.5.2. Fórmula de cálculo

Para determinar de la velocidad de combustión:

$$VC = \frac{CE}{TE}$$

Donde:

CE= Consumo Específico

VC= Velocidad de combustión

CE= Consumo específico (gr)

TE= Tiempo de ebullición (min)

2.6.6. Determinación del poder calorífico

2.6.6.1. Resumen de método de ensayo

Para el cálculo del poder calorífico se puede aplicar “La prueba de ebullición de agua”, consiste en quemar la briqueta en 2 lt de agua para la obtención del poder calorífico se medirá el tiempo que el líquido llega a su punto de ebullición.

La ecuación que describe la cantidad de calor (Q) que emana un objeto determinado, según la ley de Joule se presenta en la siguiente ecuación:

$$Q_{AL} = Q_C + Q_P + Q_{Ag1}$$

Q_{AL} = Calor del alcohol

Q_C = Calor del carbón

Q_P = Calor de perdida

Q_{Ag1} = Calor del agua 1

$$Q_{AL} + Q_C = Q_{Ag2} + Q_P + Q_{Em}$$

Q_{AL} = Calor del alcohol

Q_C = Calor del carbón

Q_P = Calor de perdida

$Q_{Ag\ 2}$ = Calor del agua 2

$$Q_C = Q_{Ag2} - Q_{Ag1}$$

Q_C = Calor del carbón

$Q_{Ag\ 1}$ = Calor del agua 1

$Q_{Ag\ 2}$ = Calor del agua 2

$$Q_C = C_A * m_A * \Delta T_2 - C_A * m_A * \Delta T_1$$

Q_C = Calor del carbón

C_A = Calor del agua

m_a = Masa de cuerpo en estudio; en este caso briquetas

ΔT_I = Variación de temperatura hasta llegar al punto de ebullición

Fórmula..... $Q_C = C_A * m_A (\Delta T_C - \Delta T_I)$

Donde:

Q_c = La cantidad de calor.

m_a = Masa de cuerpo en estudio; en este caso briquetas.

Ca = Calor específico del agua.

ΔT_c = Variación de temperatura de ebullición de calibración

ΔT_I = Variación de temperatura hasta llegar al punto de ebullición.

2.6.6.2. Determinación de cenizas

Se efectuará de acuerdo con la NTC 1859

2.6.6.3. Método de ensayo

Las cenizas se determinan pesando el residuo que queda después de quemar la briqueta o el choque de condiciones estrictamente controladas de peso de la muestra, temperatura, tiempo, atmósfera y especificaciones de equipo.

2.6.6.4. Fórmula de cálculo

$$\text{Muestra de análisis de ceniza \%} = \left[\frac{A}{B} \right] * 100$$

Donde:

A= Peso del residuo de ceniza en gr.

B= Peso de la muestra de análisis usada, en gr.

2.6.7. Identificación de variables

2.6.7.1. Variables A

- Determinación de poder calorífico óptimo (KJ/kg)
- Contenido de humedad (%)
- Velocidad de combustión (Tiempo)

2.6.7.2. Variables B

Prototipos de briquetas:

- Aserrín, Carbonilla y aglutinante almidón de yuca
- Carbonilla y aglutinante almidón de yuca

2.6.8. Variables operacionales

Tabla N° 4 Variables operacionales

VARIABLES (A)	VARIABLES (B)	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR	FUENTE DE VARIACIÓN
Determinación del poder calorífico de diferentes tipos de briquetas.	Prototipos de briquetas:	El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible.	Para determinar el poder calorífico de las briquetas de carbón se utiliza la ecuación de James Prescott Joule; y así determinar la cantidad de calor y eficiencia $Q_C = C_A * m_A (\Delta T_C - \Delta T_I)$	Calor	K/cal
	Aserrín	Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa, en este caso determinaremos el poder calorífico de las briquetas de carbón hechas de residuos de biomasa.	En donde esta fórmula nos arroja la cantidad de calor en la unidad de KJ/kg, y la eficiencia de las briquetas que esta medida en el tiempo. Para demostrar el poder calorífico tendremos que quemar 1 briqueta en 2lt de agua, y veremos el tiempo necesario que ebulle el líquido elemento.	Tiempo de Eficiencia	Minutos
	Carbonilla			Temperatura	°C
Determinación del contenido de humedad	Prototipos de briquetas:	Se denomina humedad relativa y es la relación de la masa de agua presente en un kilogramo de peso seco. El contenido de humedad de la biomasa se puede medir peso seco (Ps), Peso húmedo (Ph). Cuanto menor sea este contenido, mejor será el poder calorífico de esta biomasa y mejor será el proceso de combustión, ya que, al quemar la biomasa el agua primero debe evaporarse antes de que se presente el calor.	Para determinar el contenido de humedad se usará la siguiente ecuación. $CH = \frac{Ph - Ps}{Ph} * 100$	Porcentaje de humedad	%

Velocidad de combustión	Prototipos de briquetas: Aserrín Carbonilla	Se denomina combustión a la reacción de oxidación en la cual se desprende generalmente una gran cantidad de energía en forma de calor la combustión se puede medir en su tiempo de quemado.	Para determinar la velocidad de combustión se usará la siguiente ecuación. $VC = \frac{CE}{TE}$	Gramos/minutos	gr/min
--------------------------------	---	---	--	----------------	--------

Fuente: Elaboración propia

2.7. Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico del poder calorífico y velocidad de combustión, se establecieron las siguientes condiciones esenciales.

- Que todas las briquetas deben tener dimensiones y características homogéneas para así asegurar de mejor forma la validades y comparabilidad de los resultados obtenidos en las pruebas de ensayos.
- La recolección las probetas se llevó a cabo un muestreo al azar, siguiendo las directrices en base ala Norma Técnica Colombiana (NTCO 2060) que proporcionará un marco para análisis estadístico de las propiedades de las briquetas, para la determinación de los ensayos del poder calorífico y velocidad de combustión de las briquetas.

Para determinar si existe una variación significativa en el poder calorífico y la velocidad de combustión de las briquetas, se llevará a cabo un análisis estadístico que incluya la estimación de la media, varianza, desviación estándar y el coeficiente de variación.

2.7.1. Determinación de la media

La estimación de la media en el análisis estadístico implica el cálculo del promedio de un conjunto de datos, es una medida de tendencia central que representa el valor típico de un conjunto de datos don se realizara la comparación de medias para si los datos son homogéneos o heterogéneo.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{n}$$

2.7.2. Coeficiente de variación

La estimación del coeficiente de variación, se determina en base a las relaciones indicadas más adelante para el cálculo de la varianza de valores individuales, estimación de la varianza promedio y la varianza total.

$$CV = \frac{Cm}{\bar{x}} * 100$$

Interpretación del coeficiente de variación:

- Baja dispersión, $CV < 20\%$:
- Dispersión moderada, $20\% \leq CV \leq 30\%$:
- Alta dispersión (datos muy variables), $CV > 30\%$

2.7.3. Estimación de la varianza

La estimación de las varianzas, se determina en base a las relaciones indicadas más adelante para el cálculo de la varianza de valores individuales, estimación de la varianza promedio y la varianza total.

$$s^2 = \frac{\sum (Xi - \bar{x})^2}{n - 1}$$

2.7.4. Determinación de la desviación estándar

La desviación estándar se determinará en base a la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Máquina de elaboración de briquetas especificaciones y diseño

La estructura metálica de la prensa está construida a base metales con tubo circular 2.5 cm y plancha 5 mm en ambos extremos soldados el molde de las briquetas es de 4 cm de largo, con un diámetro de 8 cm y un orificio de 1cm de aireación se utilizó 3 moldes para la elaboración de las briquetas y gata de 3 ton.

La fabricación de la prensa está bien reforzada para poder soportar la presión que se ejercerá en la elaboración de las briquetas.

3.1.1. Descripción de la prensa hidráulica

Tabla N° 5 Parte de las prensas artesanal

Partes	Ilustración	Función
a) Gata hidráulica capacidad 3 TN		Presión para la compresión de las briquetas.
b) Estructura metálica de la prensa		Soporte superior e inferior con tubo redondo laterales para la fuerza ejercida por la gata hidráulica para la compresión.

c) Moldes		Molde de compresión de la materia para la elaboración y compactación de las briquetas.
d) Aparato de compresión		Artefacto como tapa del molde de briquetas para la compresión.

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Ventajas de la máquina

- a) Briquetas con facilidad
- b) Fácil manipulación
- c) Fácil desmolde y limpieza
- d) Briquetas bien compactadas
- e) Fácil de manipular la prensa hidráulica artesanal

3.2. Elaboración de la materia

Para la preparación de la materia para briquetas se utilizó:

Tabla N° 6 Materiales elaboración de las briquetas

Materiales para las briquetas de carbonilla						
Aglutinante	6,2 gr	12,4 gr	18,6 gr	24,8 gr	31 gr	37,2 gr
Carbonilla	241,8 gr	235,6 gr	229,4 gr	223,2 gr	217 gr	210,8 gr
Materiales para la briketa de carbonilla y aserrín						
Aglutinante	6,2 gr	12,4 gr	18,6 gr	24,8 gr	31 gr	37,2 gr
Carbonilla	120,9 gr	117,8 gr	114,7 gr	111,6 gr	108,5 gr	105,4 gr
Aserrín	120,9 gr	117,8 gr	114,7 gr	111,6gr	108,5 gr	105,4 gr

Fuente: Elaboración propia

3.3. Densidad

Se calculó por medio de la relación existente entre la masa de la briketa y su volumen.

3.4. Determinación del contenido de humedad

Para la determinación del contenido de humedad se realizó en el Laboratorio de Tecnología de la Madera, de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales con la utilización de la estufa de secado a una temperatura 80°C a 120 °C por el lapso de 3 días hasta obtener un contenido de humedad 12% a 13%

Para la determinación de la humedad se utilizó la formula:

Ecuación

$$CH\% = \frac{Ph - Ps}{Ph} * 100$$

Donde:

CH= Contenido de humedad

Ph= Peso húmedo de la briqueta

Ps= Peso seco de la briqueta

Para la determinación de la materia seca se utilizó la formula:

$$Ms \% = \frac{Ps}{Ph} * 100$$

Ms= Materia seca

Ph= Peso húmedo de las briquetas

Ps= Peso seco de las briquetas

Tabla N° 7 Determinación del peso húmedo

BRIQUETAS DE CARBONILLA + AGLUNITANTE					
N°		$\bar{x}$	Sx	CV	S ²
1	Briquetas de 97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca	242,4	3,81	0,02	14,55
2	Briquetas de 95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca	243,6	2,51	0,01	6,45
3	Briquetas de 92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca	244,1	2,87	0,01	8,23
4	Briquetas de 90% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca	245,8	1,36	0,01	1,86
5	Briquetas de 87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca	246,4	1,01	0,004	1,03
6	Briquetas de 85% de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca	246,3	0,72	0,003	0,52

En la determinación del peso húmedo de las briquetas de carbonilla en cada prototipo se puede evidenciar que la diferencia de peso húmedo de la briqueta respecto a la media varía

242,42 gr a 246,3 gr en el coeficiente de variación calculado es menor <20% lo que podemos notar los datos calculados son homogéneos no encontrándose diferencias significativas en la prueba de ensayo.

Tabla N° 8 Determinación del peso seco

BRIQUETAS DE CARBONILLA + AGLUNITANTE					
N°		$\bar{x}$	Sx	CV	S ²
1	Briquetas de 97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca	213,4	3,36	0,02	11,27
2	Briquetas de 95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca	214,4	2,16	0,01	4,67
3	Briquetas de 92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca	214,9	2,49	0,01	6,19
4	Briquetas de 90% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca	216,3	1,23	0,01	1,52
5	Briquetas de 87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca	216,9	0,98	0,005	0,95
6	Briquetas de 85% de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca	216,8	0,72	0,003	0,51

En la determinación del peso seco realizado sobre las briquetas de carbonilla con diferentes proporciones de aglutinante de almidón de yuca, sugiere que no se encontraron diferencias significativas en la media calculada del peso seco que varía 213, 4 gr a 216,9 gr en el peso seco entre los grupos comparados en el análisis de coeficiente de variación es menor al <20% lo que refleja que los resultados son homogéneos.

Tabla N° 9 Determinación del contenido de humedad

BRIQUETAS DE CARBONILLA + AGLUNITANTE					
N°		$\bar{x}$	Sx	CV	S ²
1	Briquetas de 97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca	11,98	0,10	0,01	0,01
2	Briquetas de 95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca	12,00	0,12	0,01	0,02
3	Briquetas de 92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca	11,95	0,10	0,01	0,01
4	Briquetas de 90% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca	11,99	0,09	0,01	0,01
5	Briquetas de 87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca	12,00	0,10	0,008	0,01
6	Briquetas de 85% de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca	11,98	0,10	0,008	0,01

En la evaluación del contenido de humedad de las briquetas de carbonilla, se observa que este parámetro oscila entre 11,95 % y 12,00 %. A medida que se incrementa el porcentaje de aglutinante, el contenido de humedad presenta variaciones ligeras, aunque estas son mínimas y no significativas.

Este comportamiento sugiere que el contenido de humedad, no supera el 12% de CH a través de las diferentes formulaciones, lo que indica la efectividad del proceso de secado aplicado a las briquetas.

Tabla N° 10 Determinación del peso húmedo

BRIQUETAS DE CARBONILLA + ASERRIN + AGLUNITANTE					
N°		$\bar{x}$	Sx	CV	S ²
1	48.75 % de carbonilla + 48.75 aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca	246,5	0,69	0,003	0,48
2	47.5 % de carbonilla + 47.5 aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca	246,4	0,67	0,003	0,45
3	46.25 % de carbonilla + 46.25 aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca	246,5	0,64	0,003	0,41
4	45 % de carbonilla + 45 aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca	246,3	0,85	0,003	0,72
5	43.75% de carbonilla + 43.75 aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca	246,2	0,87	0,004	0,76
6	42.5 % de carbonilla + 42.5 aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca	246,3	0,61	0,002	0,37

En la determinación del peso húmedo de las briquetas de carbonilla en cada prototipo se puede evidenciar que la diferencia de peso húmedo de la briketa respecto a la media varía 246,5 gr a 246,2 gr en el coeficiente de variación calculado es menor <20% lo que podemos notar los datos calculados son homogéneos no encontrándose diferencias significativas en la prueba de ensayo.

Tabla N° 11 Determinación del peso seco

BRIQUETAS DE CARBONILLA + ASERRIN + AGLUNITANTE					
N°		$\bar{x}$	Sx	CV	S ²
1	48.75 % de carbonilla + 48.75 aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca	217,0	0,67	0,003	0,46
2	47.5 % de carbonilla + 47.5 aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca	216,9	0,65	0,003	0,42
3	46.25 % de carbonilla + 46.25 aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca	217,0	0,55	0,003	0,31
4	45 % de carbonilla + 45 aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca	216,8	0,79	0,004	0,63
5	43.75% de carbonilla + 43.75 aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca	216,7	0,87	0,004	0,76
6	42.5 % de carbonilla + 42.5 aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca	216,8	0,53	0,002	0,28

En la determinación del peso seco realizado sobre las briquetas de carbonilla, aserrín con diferentes proporciones de aglutinante de almidón de yuca sugiere que no se encontraron diferencias significativas en la media calculada del peso seco que varía 217,0 gr a 216,7 gr en el peso seco entre los grupos comparados en el análisis de coeficiente de variación es menor al <20%, lo que refleja que los resultados son homogéneos, no encontrándose diferencias significativas.

Tabla N° 12 Determinación de contenido de humedad

BRIQUETAS DE CARBONILLA + ASERRIN + AGLUNITANTE					
N°		$\bar{x}$	Sx	CV	S ²
1	48.75 % de carbonilla + 48.75 aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca	11,96	0,12	0,010	0,01
2	47.5 % de carbonilla + 47.5 aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca	11,96	0,11	0,009	0,01
3	46.25 % de carbonilla + 46.25 aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca	11,96	0,12	0,010	0,01
4	45 % de carbonilla + 45 aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca	11,97	0,10	0,008	0,01
5	43.75% de carbonilla + 43.75 aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca	11,98	0,11	0,009	0,01
6	42.5 % de carbonilla + 42.5 aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca	11,98	0,10	0,008	0,01

En la evaluación del contenido de humedad de las briquetas de carbonilla, aserrín se observa que este parámetro oscila entre 11,98 % y 11,96 %. El contenido de humedad presenta variaciones ligeras, aunque estas son mínimas y no significativas.

Este comportamiento sugiere que el contenido de humedad no supera el 12% de CH, a través de las diferentes formulaciones, lo que indica la efectividad del proceso de secado aplicado a las briquetas.

3.4. Determinación de la friabilidad

Para la determinación de la friabilidad de las briquetas se midió 1 m de altura, desde donde se dejaron caer los dos tipos de briquetas para poder determinar su friabilidad, se utilizaron 180 briqueta de carbonilla + aglutinante y 180 briquetas de carbonilla + aserrín + aglutinante. En ambos grupos, varían los porcentajes de aglutinante para analizar su impacto en la resistencia y durabilidad de las briquetas.

Donde los resultados se notan en la siguiente tabla:

Tabla N° 13 Determinación de la friabilidad briquetas de carbonilla

N°	Número de Fragmento					
	(97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca)	(95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca)	(92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca)	(97.5% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca)	(87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca)	(85% de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca)
	Número de fragmentos	Número de fragmentos	Número de fragmentos	Número de fragmentos	Número de fragmentos	Número de fragmentos
1	2	1	1	1	1	1
2	5	2	1	1	1	1
3	4	4	3	1	1	1

4	3	1	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	1
6	4	2	1	1	1	1
7	5	1	1	1	1	1
8	1	3	3	1	1	1
9	3	4	2	1	1	1
10	5	1	1	1	1	1
11	4	3	3	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1
13	5	3	1	1	1	1
14	4	1	1	1	1	1
15	1	4	3	1	1	1
16	3	1	1	1	1	1
17	4	3	1	1	1	1
18	2	1	1	1	1	1

19	3	3	1	1	1	1
20	4	1	2	2	1	1
21	2	3	2	1	1	1
22	4	4	1	1	1	1
23	5	2	1	1	1	1
24	5	3	3	1	1	1
25	3	1	1	1	1	1
26	1	4	3	1	1	1
27	2	2	2	1	1	1
28	5	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1
30	3	4	2	1	1	1
BRIQUETAS FRAGMENTADAS	24	18	12	1	1	1
TOTAL FRAGMENTADO	95	67	48	31	30	30

La relación de las briquetas de carbonilla con diferente porcentaje de aglutinante yuca nos reflejó los siguientes resultados:

Tabla N° 14 Porcentaje de fragmentación

(97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca)	(95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca)	(92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca)	(97.5% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca)	(87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca)	(85% de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca)
$\% \text{ de fragmentacion} = \frac{N^{\circ} \text{ fragmentadas}}{N^{\circ}}$	$\% \text{ de fragmentacion} = \frac{N^{\circ} \text{ fragmentadas}}{N^{\circ}}$	$\% \text{ de fragmentacion} = \frac{N^{\circ} \text{ fragmentadas}}{N^{\circ}}$	$\% \text{ de fragmentacion} = \frac{N^{\circ} \text{ fragmentadas}}{N^{\circ}}$	$\% \text{ de fragmentacion} = \frac{N^{\circ} \text{ fragmentadas}}{N^{\circ}}$	$\% \text{ de fragmentacion} = \frac{N^{\circ} \text{ fragmentadas}}{N^{\circ}}$
$\frac{24}{30} = 0.8 * 100 = 80$	$\frac{18}{30} = 0.6 * 100 = 60$	$\frac{12}{30} = 0.4 * 100 = 40$	$\frac{1}{30} = 0.03 * 100 = 3.3$	$\frac{1}{30} = 1 * 100 = 3.3$	$\frac{1}{30} = 1 * 100 = 3.3$

Para el cálculo de porcentaje de fragmentación con diferente porcentaje de aglutinante, hacemos relación que números de briquetas que se fragmentaron como se observa en la (Tabla 13), sobre el total de briquetas de las 30 briquetas sometidas a la prueba de ensayo se pudo observar el número de fragmentos por porcentaje de aglutinante, para lo cual decimos que de las 30 briquetas no se fragmentaron todas, sino que a mayor porcentaje de aglutinante las briquetas funcionan mejor manera no dejando desintegrarse.

Tabla N° 15 Determinación de la friabilidad briquetas de carbonilla y aserrín

N°	Número de Fragmento					
	48.75 % de carbonilla + 48.75 aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca	47.5 % de carbonilla + 47.5 aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca	46.25 % de carbonilla + 46.25 aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca	45 % de carbonilla + 45 aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca	43.75% de carbonilla + 43.75 aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca	42.5 % de carbonilla + 42.5 aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca
	Número de fragmentos	Número de fragmentos	Número de fragmentos	Número de fragmentos	Número de fragmentos	Número de fragmentos
1	1	1	2	1	1	1
2	3	1	1	1	1	1
3	1	2	2	1	1	1
4	2	3	2	2	1	1
5	3	4	1	1	1	1
6	1	1	2	1	1	1
7	4	4	1	1	1	1
8	2	3	1	1	1	1

9	3	2	3	1	1	1
10	2	3	2	1	1	1
11	4	4	1	1	1	1
12	3	2	2	1	1	1
13	3	1	1	1	1	1
14	2	3	1	1	1	1
15	2	1	2	1	1	1
16	3	2	2	1	1	1
17	1	3	1	1	1	1
18	4	1	2	1	1	1
19	1	3	1	2	1	1
20	1	2	1	1	1	1
21	4	3	2	1	1	1
22	5	1	1	1	1	1
23	4	4	3	1	1	1

24	3	3	1	1	1	1
25	5	2	1	1	1	1
26	3	1	2	1	1	1
27	4	2	3	1	1	1
28	5	3	2	1	1	1
29	5	2	1	1	1	1
30	4	2	1	1	1	1
BRIQUETAS FRAGMENTADAS	24	22	15	2	1	1
TOTAL FRAGMENTADO	88	69	48	32	30	30

La relación de las briquetas de carbonilla con diferente porcentaje de aglutinante yuca nos reflejó los siguientes resultados:

Tabla N° 16 Porcentaje de fragmentación

48.75 % de carbonilla + 48.75 aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca	47.5 % de carbonilla + 47.5 aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca	46.25 % de carbonilla + 46.25 aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca	45 % de carbonilla + 45 aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca	43.75% de carbonilla + 43.75 aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca	42.5 % de carbonilla + 42.5 aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca
$\% \text{ de fragmentacion} = \frac{\text{N}^\circ \text{ fragmentadas}}{\text{N}^\circ}$	$\% \text{ de fragmentacion} = \frac{\text{N}^\circ \text{ fragmentadas}}{\text{N}^\circ}$	$\% \text{ de fragmentacion} = \frac{\text{N}^\circ \text{ fragmentadas}}{\text{N}^\circ}$	$\% \text{ de fragmentacion} = \frac{\text{N}^\circ \text{ fragmentadas}}{\text{N}^\circ}$	$\% \text{ de fragmentacion} = \frac{\text{N}^\circ \text{ fragmentadas}}{\text{N}^\circ}$	$\% \text{ de fragmentacion} = \frac{\text{N}^\circ \text{ fragmentadas}}{\text{N}^\circ}$
$\frac{24}{30} = 0.8 * 100 = 80$	$\frac{22}{30} = 0.73 * 100 = 73$	$\frac{15}{30} = 0.5 * 100 = 50$	$\frac{2}{30} = 0.6 * 100 = 7$	$\frac{1}{30} = 0.03 * 100 = 3.3$	$\frac{1}{30} = 0.03 * 100 = 3.3$

Para el cálculo de porcentaje de fragmentación con diferente porcentaje de aglutinante, hacemos relación que números de briquetas que se fragmentaron como se observa en la (Tabla 17) sobre el total de briquetas de las 30 briquetas sometidas a la prueba de ensayo se pudo observar el número de fragmentos por porcentaje de aglutinante, para lo cual decimos que de las 30 briquetas no se fragmentaron todas, sino que a mayor porcentaje de aglutinante las briquetas funcionan mejor manera no dejando desintegrarse.

Tabla N° 17 Índice de friabilidad briquetas de carbonilla

Tipos de mezclas	N° de briquetas	N° de briquetas de ensayadas	N° de fragmentos al final del ensayo	Índice de friabilidad
97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca	30	30	95	$FR = \frac{95}{30} = 3.2$
95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca	30	30	67	$FR = \frac{67}{30} = 2.2$
92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca	30	30	48	$FR = \frac{48}{30} = 1.6$
90% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca	30	30	31	$FR = \frac{31}{30} = 1$
87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca	30	30	30	$FR = \frac{30}{30} = 1$
85% de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca	30	30	30	$FR = \frac{30}{30} = 1$

Una vez que se realizó el ensayo de friabilidad de las briquetas de ambas mezclas podemos concluir que:

La mejor mezcla de aglutinante es del 10% con la cantidad adecuada de la carbonilla, no dejando que las briquetas sean de composición inestable y que se desintegren de manera fácil ya que esto influye al poder calorífico, en cambio en las mezclas de aglutinante menor al 10% no son recomendables porque tienen un gran porcentaje de fragmentación.

Tabla N° 18 Índice de friabilidad briquetas de carbonilla y aserrín

Tipos de mezclas	N° de briquetas	N° de briquetas de ensayadas	N° de fragmentos al final del ensayo	Índice de friabilidad
48.75 % de carbonilla + 48.75 aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca	30	30	88	$FR = \frac{88}{30} = 2.9$
47.5 % de carbonilla + 47.5 aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca	30	30	69	$FR = \frac{69}{30} = 2.3$
46.25 % de carbonilla + 46.25 aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca	30	30	48	$FR = \frac{48}{30} = 1.6$
45 % de carbonilla + 45 aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca	30	30	32	$FR = \frac{32}{30} = 1.1$
43.75% de carbonilla + 43.75 aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca	30	30	30	$FR = \frac{30}{30} = 1$
42.5 % de carbonilla + 42.5 aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca	30	30	30	$FR = \frac{30}{30} = 1$

Una vez que se realizó el ensayo de friabilidad de las briquetas de ambas mezclas podemos concluir que:

La mezcla de aglutinante más adecuada es del 12.5% con la cantidad adecuada de la carbonilla y aserrín siendo un prototipo de briqueta de friabilidad estable dejando que las briquetas no se desintegren de manera fácil ya que esto influye al poder calorífico, en cambio en las mezclas de aglutinante menor al 10% no son recomendables porque tienen un gran porcentaje de fragmentación.

3.5. Determinación de la combustión

Después de la fabricación de las briquetas con diferentes características se procedió a la combustión para poder medir el tiempo de quemado de briquetas.

Para el encendido se utiliza un acelerador con el cual se encendió rápido y se logró generar una llama; la misma que sirvió para hacer hervir agua con los prototipos de briquetas.

Tabla N° 19 Tiempo de quemado de briquetas

Tiempo de quemado						
Briquetas	97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca	95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca	92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca	90% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca	87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca	85% de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca
	52:00 min	1:03:00 min	01:25:00 min	1:55:00 min	2:20:00 min	2:45:00 min
Briquetas	48.75 % de carbonilla + 48.75 aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca	47.5 % de carbonilla + 47.5 aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca	46.25 % de carbonilla + 46.25 aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca	45 % de carbonilla + 45 aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca	43.75% de carbonilla + 43.75 aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca	42.5 % de carbonilla + 42.5 aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca
	35:00 min	45:00 min	1:06:00 min	1:30:00 min	1:50:00 min	2:12:00 min
Diferencia de tiempo	17:00 min	18:00 min	22:00 min	25:00 min	30:00 min	33:00 min

Las briquetas con carbonilla y aglutinante de almidón de yuca tienen un tiempo de quemado 52:00 min (97.5% carbonilla) a 2:45:00 min (85% carbonilla), mientras que en el otro prototipo las briquetas con carbonilla, aserrín y aglutinante de almidón de yuca tienen un tiempo de quemado 35:00 min (48.75% carbonilla) a 2:12:00 min (42.5% carbonilla). Con diferencias que oscilan entre 17 y 33 minutos donde las briquetas de carbonilla tienen un tiempo de quemado más alto en comparación al otro prototipo.

3.6. Determinación de tiempo de ebullición del agua

Para la determinación del tiempo de ebullición de agua se hizo hervir 2 litros de agua con las briquetas con los diferentes porcentajes de aglutinantes de almidón de yuca.

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

$$\textit{Tiempo de ebullición} = T_f - T_i$$

Donde:

Ti: Tiempo inicial de la prueba (min)

Tf: Tiempo final cuando el agua inicia su punto de ebullición (min)

Tabla N° 20 Tiempo de ebullición briquetas de carbonilla

Briquetas	97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca	95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca	92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca	90% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca	87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca	85 % de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca
Temperatura Inicial	22.5 °C	22.7 °C	22.9 °C	22.9 °C	22.9 °C	22.9 °C
Temperatura Final	93.1 °C	93.3 °C	93.5 °C	93.2 °C	93.4 °C	93.2 °C
Temperatura Ambiental	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C
Tiempo de Ebullición	45:00 min	40:00 min	40:00 min	40:00 min	40:00 min	40:00 min
Tiempo de quemado	52:00 min	1:03:00 min	1:15:00 min	1:55:00 min	2:20:00 min	2:45:00 min

Una vez que se realizó el ensayo de tiempo de ebullición del agua se pudo determinar que el tiempo varía entre 40 y 45 minutos.

Tomando en cuenta que el tiempo de quemado va aumentando significativamente en:

- 52 minutos para 97.5% de carbonilla.
- 165 minutos para 85% de carbonilla.

Tabla N° 21 Tiempo de ebullición briquetas de carbonilla y aserrín

Briquetas	48.75 % de carbonilla + 48.75% aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca	47.5 % de carbonilla + 47.5% aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca	46.25 % de carbonilla + 46.25% aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca	45 % de carbonilla + 45% aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca	43.75% de carbonilla + 43.75% aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca	42.5 % de carbonilla + 42.5 % aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca
Temperatura Inicial	23.4 °C	23.2 °C	23.6 °C	23.6 °C	23.6 °C	23.6 °C
Temperatura Final	93.7 °C	93.4 °C	94.0 °C	94.2 °C	94.2 °C	94.2 °C
Temperatura Ambiental	20 °C	20 °C	20 °C	20 °C	20 °C	20 °C
Tiempo de Ebullición	35:00 min	30:00 min	30:00 min	30:00 min	30:00 min	30:00 min
Tiempo de quemado	35:00 min	45:00 min	1:06:00 min	1:30:00 min	1:50:00 min	2:12:00 min

Una vez que se realizó el ensayo de tiempo de ebullición del agua, se pudo determinar que el tiempo varía entre 30 y 35 minutos.

Tomando en cuenta que el tiempo de quemado va aumenta significativamente en:

- 35 minutos para 48.75 % de carbonilla, aserrín y aglutinante.
- 132 minutos para 42.5 % de carbonilla, aserrín y aglutinante.

Las briquetas de carbonilla y aglutinante tienden a tener tiempo de quemado más largos a comparación del otro prototipo que tienen el tiempo de quemado más corto, donde nos sugiere que la composición de aglutinante influye significativamente en sus propiedades térmicas.

3.7. Consumo específico de combustión

Para obtener el consumo específico de combustible se pesó las briquetas antes de ser utilizadas y luego se pesó los residuos que quedaron después de la prueba.

Se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$CE = PI - PF$$

Donde:

PI= Peso inicial de las briquetas (gr)

PF= Peso final del residuo obtenido (gr)

Consumo específico briquetas carbonilla con aglomerante de almidón de yuca

Para determinar el consumo específico de las briquetas, se pesó cada briqueta para obtener el peso inicial; posteriormente se pesó la briqueta, una vez que fue sometida a la prueba para obtener el peso final se puede obtener los siguientes resultados.

Tabla N° 22 Consumo específico de briquetas de carbonilla con aglomerante de almidón de yuca

Consumo Específico						
Briquetas	97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca	95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca	92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca	90% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca	87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca	85% de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca
Consumo Específico	$CE = 208-126= 82\text{gr}$	$CE = 210-158=52\text{gr}$	$CE = 206-168= 38\text{gr}$	$CE = 208-182=26\text{gr}$	$CE = 210-186= 24\text{gr}$	$CE = 210-187=23\text{gr}$

Como se puede observar en la tabla anterior, el porcentaje de consumo específico de este prototipo de briketa va disminuyendo en base al porcentaje de aglutinante con el cual fue elaborado la briketa.

Consumo específico de briquetas de carbonilla más aserrín con aglomerante de almidón de yuca

Para determinar el consumo específico de las briquetas, se pesó cada briketa para obtener el peso inicial; posteriormente se pesó la briketa una vez que fue sometida a la prueba para obtener el peso final para poder obtener los siguientes resultados.

3.7.1 Consumo específico de briquetas de carbonilla y aserrín

Tabla N° 23 Consumo específico de briquetas de carbonilla y aserrín

Consumo Específico						
Briquetas	48.75 % de carbonilla + 48.75% aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca.	47.5 % de carbonilla + 47.5% aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca.	46.25 % de carbonilla + 46.25% aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca.	45 % de carbonilla + 45% aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca.	43.75% de carbonilla + 43.75% aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca.	42.5 % de carbonilla + 42.5% aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca.
Consumo Específico	$CE = 197-87= 110\text{gr}$	$CE = 195-98=97 \text{ gr}$	$CE = 200-125= 75\text{gr}$	$CE = 198 - 132=66\text{gr}$	$CE = 200-143= 57\text{gr}$	$CE = 201-148=53\text{gr}$

Como se observa en la tabla anterior el consumo específico es mayor que al anterior prototipo de las briquetas de carbonilla, no se consume con mucha facilidad a comparación de este prototipo.

3.7.2. Velocidad de combustión.

Para determinar la velocidad de combustión tomando en cuenta el consumo específico y tiempo de ebullición.

Para determinar de la velocidad de combustión:

$$VC = \frac{CE}{TE}$$

Donde:

VC= Velocidad de combustión

CE= Consumo específico (gr)

TE= Tiempo de ebullición (min)

3.7.3 Velocidad de combustión de briquetas de carbonilla.

Tabla N° 24 Velocidad de combustión de briquetas de carbonilla.

Velocidad de combustión						
Briquetas	97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca.	95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca.	92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca.	90% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca.	87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca.	85% de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca.
Consumo específico	$CE = 82\text{gr}$	$CE = 52\text{gr}$	$CE = 38\text{gr}$	$CE = 26\text{gr}$	$CE = 24\text{gr}$	$CE = 23\text{gr}$
Tiempo de ebullición	45:00 min	40:00 min	40:00 min	40:00 min	40:00 min	40:00 min
Velocidad de combustión	$VC = 1.8\text{ gr/min}$	$VC = 1.3\text{ gr/min}$	$VC = 1\text{gr/min}$	$VC = 1\text{ gr/min}$	$VC = 1\text{ gr/min}$	$VC = 1\text{gr/min}$

3.7.4. Velocidad de combustión de briquetas de carbonilla y aserrín

Tabla N° 25 Velocidad de combustión de briquetas de carbonilla y aserrín

Velocidad de combustión						
Briquetas	48.75 % de carbonilla + 48.75% aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca.	47.5 % de carbonilla + 47.5% aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca.	46.25 % de carbonilla + 46.25% aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca.	45 % de carbonilla + 45% aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca.	43.75% de carbonilla + 43.75% aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca.	42.5 % de carbonilla + 42.5% aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca.
Consumo específico	$CE = 110\text{gr}$	$CE = 97\text{gr}$	$CE = 75\text{gr}$	$CE = 66\text{gr}$	$CE = 57\text{gr}$	$CE = 53\text{gr}$
Tiempo de ebullición	35:00 min	30:00 min	30:00 min	30:00 min	30:00 min	30:00 min
Velocidad de combustión	$VC = 3.1\text{gr/min}$	$VC = 3.2\text{gr/min}$	$VC = 2.5\text{gr/min}$	$VC = 2.2\text{gr/min}$	$VC = 1.9\text{gr/min}$	$VC = 1.8\text{gr/min}$

3.8. Determinación del poder calorífico

Para el cálculo del poder calorífico se puede aplicar “La prueba de ebullición de agua”, consiste en quemar la briketa en 2 lt de agua para la obtención del poder calorífico se medirá el tiempo que el líquido llega a su punto de ebullición.

La ecuación que describe la cantidad de calor (Q) que emana un objeto determinado, según la ley de Joule se presenta en la siguiente ecuación:

$$Q_{AL} = Q_C + Q_P + Q_{Agl}$$

Q_{AL} = Calor del alcohol

Q_C = Calor del carbón

Q_P= Calor de perdida

Q_{Ag 1}= Calor del agua 1

$$Q_{AL} + Q_C = Q_{Ag2} + Q_P + Q_{Em}$$

Q_{AL}= Calor del alcohol

Q_C= Calor del carbón

Q_P= Calor de perdida

Q_{Ag 2}= Calor del agua 2

$$Q_C = Q_{Ag2} - Q_{Ag1}$$

Q_C= Calor del carbón

Q_{Ag 1}= Calor del agua 1

Q_{Ag 2}= Calor del agua 2

$$Q_C = C_A * m_A * \Delta T_2 - C_A * m_A * \Delta T_1$$

Q_C= Calor del carbón

C_A= Calor del agua

m_a= Masa de cuerpo en estudio; en este caso briquetas

ΔT_I= Variación de temperatura hasta llegar al punto de ebullición

Formula:

$$Q_C = C_A * m_A (\Delta T_C - \Delta T_I)$$

Donde:

Q_c = La cantidad de calor.

m_a = Masa de cuerpo en estudio; en este caso briquetas.

C_a = Calor específico del agua.

ΔT_c = Variación de temperatura de ebullición de calibración

ΔT_I = Variación de temperatura hasta llegar al punto de ebullición.

Gráfico 1 Determinación del poder calorífico briquetas de carbonilla y aglutinante

jus

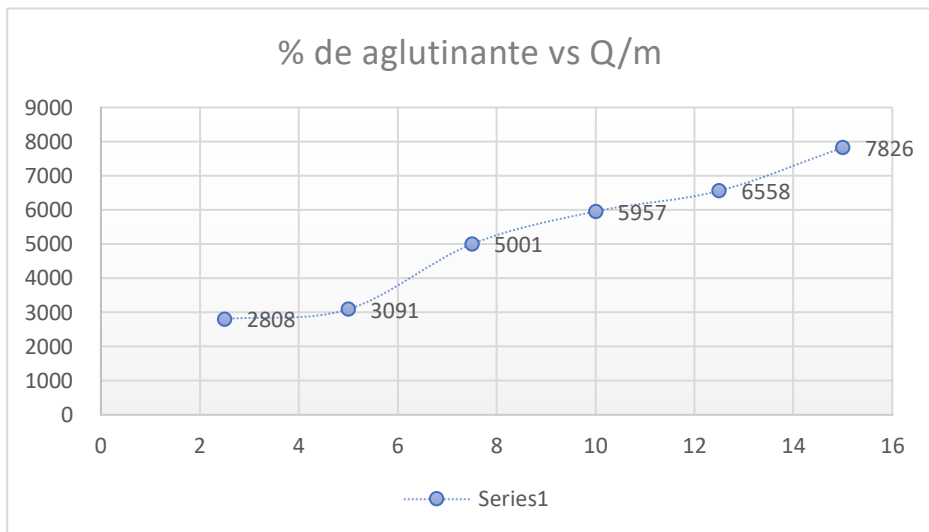
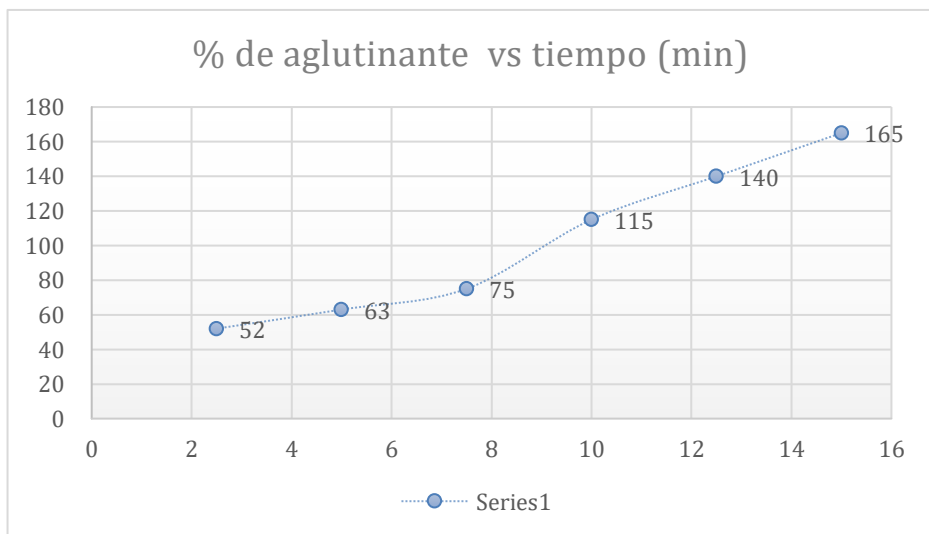


Gráfico 2 Determinación del poder calorífico carbonilla y aglutinante



Porcentaje (%)	Q/m (KJ/kg)	Tiempo (min)
2,5	2808	52
5	3091	63
7,5	5001	75
10	5957	115
12,5	6558	140
15	7826	165

Poder calorífico óptimo	
Q/m (KJ/kg)	5206,85
tiempo (min)	101,67

En la curva del gráfico 1 se observa que el poder calorífico tiende a aumentar conforme se incrementa la proporción de aglutinante en la mezcla. No obstante, el valor óptimo para la elaboración de briquetas se encuentra en una composición de 10% de aglutinante y 90% de carbonilla, siendo este el porcentaje que proporciona el mejor equilibrio entre las propiedades físicas y el rendimiento energético.

Esta proporción permite obtener briquetas con una resistencia y densidad adecuadas, al mismo tiempo que maximiza el poder calorífico, lo que las hace más eficientes para su uso como combustible. Por lo tanto, 10% de aglutinante y 90% de carbonilla es el porcentaje más recomendable para la fabricación de briquetas de alta calidad que generará un poder calorífico 5957 KJ/kg y un tiempo de rendimiento de 90 min.

Gráfico 3 Determinación del poder calorífico carbonilla, aserrín y aglutinante

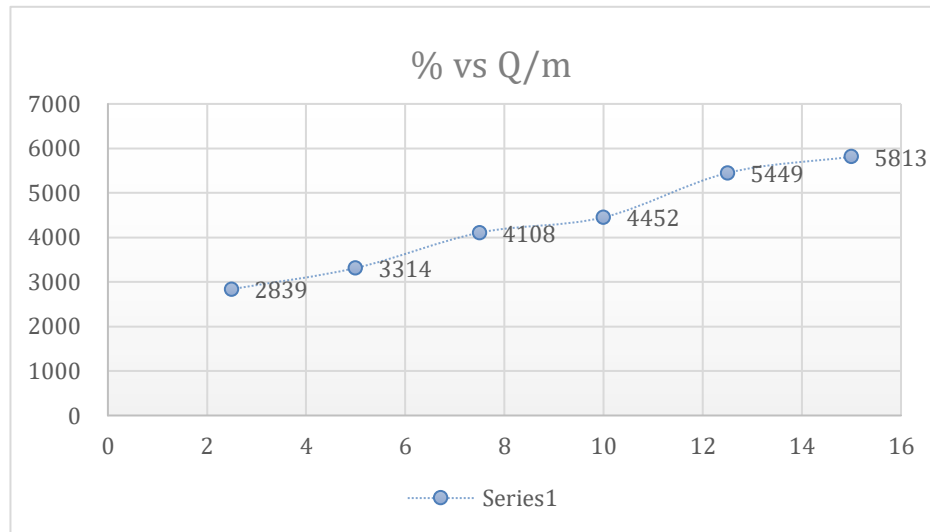
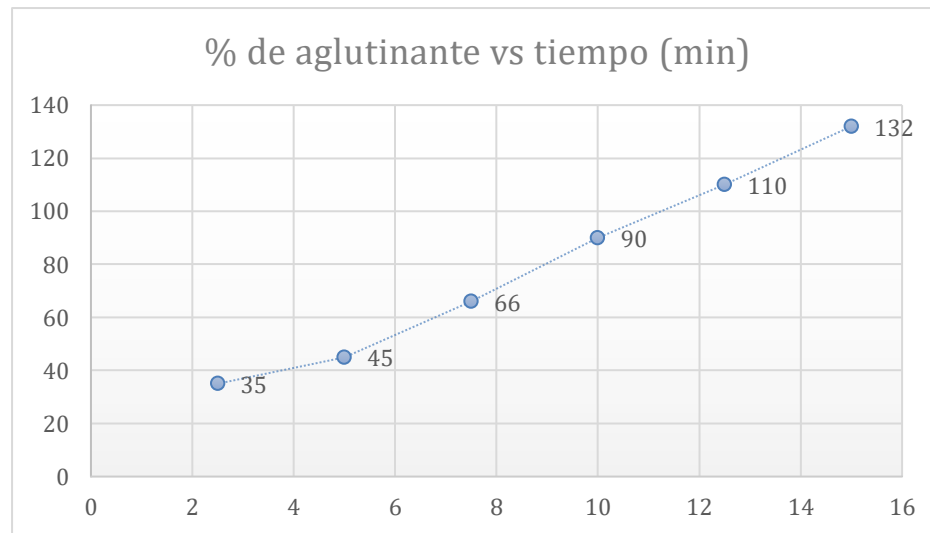


Gráfico 4 Determinación del poder calorífico carbonilla, aserrín y aglutinante



Porcentaje (%)	Q/m (KJ/kg)	Tiempo (min)
2,5	2839	35
5	3314	45
7,5	4108	66
10	4452	90
12,5	5449	110
15	5813	132

Poder calorífico óptimo	
Q/m (KJ/kg)	4329,26
tiempo (min)	79,67

En la curva del gráfico 3, se observa que el poder calorífico tiende a aumentar conforme se incrementa la proporción de aglutinante en la mezcla. No obstante, el valor óptimo para la elaboración de briquetas se encuentra en una composición de 45% de carbonia, 45% de aserrín, 10% de aglutinante, siendo este el porcentaje que proporciona el mejor equilibrio entre las propiedades físicas y el rendimiento energético.

Esta proporción permite obtener briquetas con una resistencia y densidad adecuadas, al mismo tiempo que maximiza el poder calorífico, lo que las hace más eficientes para su uso como combustible. Por lo tanto, 45% de carbonia, 45% de aserrín, 10% de aglutinante; es el porcentaje más recomendable para la fabricación de briquetas de alta calidad que generará un poder calorífico 4452 KJ/kg y un tiempo de rendimiento de 90 min.

3.9 Determinación de ceniza

Para la determinación el porcentaje de ceniza de los prototipos, se determina pesando el residuo que queda después de quemar las briquetas y en comparación al carbón vegetal que serán estrictamente contraladas de peso de la muestra, temperatura, tiempo.

$$\text{Muestra de análisis de ceniza \%} = \left[\frac{A}{B} \right] * 100$$

Donde:

A= Peso del residuo de ceniza en (gr)

B= Peso de la muestra de análisis usada (gr)

Tabla N° 26 Determinación de ceniza briquetas de carbonilla y aglutinante

97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca.	95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca.	92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca.	90% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca.	87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca.	85% de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca.
53%	48%	41%	39%	39%	37%

En resumen, los resultados de la determinación de ceniza del primer prototipo de briqueta, indican que la proporción de carbonilla y aglutinante tiene un impacto significativo en el contenido de ceniza de las briquetas. Para optimizar la calidad del combustible, es recomendable mantener un contenido de carbonilla elevado, mientras se utiliza la cantidad necesaria de aglutinante para asegurar la cohesión y la manejabilidad de las briquetas.

Tabla N° 27 Determinación de ceniza briquetas de carbonilla, aserrín y aglutinante

48.75 % de carbonilla + 48.75% aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca.	47.5 % de carbonilla + 47.5% aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca.	46.25 % de carbonilla + 46.25% aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca.	45 % de carbonilla + 45% aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca.	43.75% de carbonilla + 43.75% aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca.	42.5 % de carbonilla + 42.5% aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca.
70%	72%	69%	69%	39%	36%

En resumen, los resultados de la determinación de ceniza del segundo prototipo indican que la proporción de carbonilla, aserrín y aglutinante tiene un impacto significativo en el contenido de ceniza de las briquetas. En recomendable mantener un elevado de carbonilla, aserrín mientras utilizamos la cantidad adecuada del aglutinante para reducir el porcentaje de ceniza.

3.10. Caracterización de briquetas

La caracterización de los dos prototipos de briquetas a través de sus propiedades físicas:

Tabla N° 28 Características de las briquetas de carbonilla y aglutinante de yuca

Muestra/Propiedades	Forma	Tamaño	Color	Densidad	Humedad	Ceniza	Poder calorífico
97.5% de carbonilla + 2.5% aglutinante de almidón de yuca.	Cilíndrica 8cm y 1cm de orificio de aireación	4.5 longitud	Negro	1,072 gr/cm ³	11,98 %	53 %	2808 KJ/kg
95% de carbonilla + 5% aglutinante de almidón de yuca.	Cilíndrica 8cm y 1cm de orificio de aireación	4.5 longitud	Negro	1,077 gr/cm ³	12,00 %	48 %	3091 KJ/kg
92.5% de carbonilla + 7.5% aglutinante de almidón de yuca.	Cilíndrica 8cm y 1cm de orificio de aireación	4.5 longitud	Negro	1,079 gr/cm ³	11,95 %	41 %	5001 KJ/kg
90% de carbonilla + 10% aglutinante de almidón de yuca.	Cilíndrica 8cm y 1cm de orificio de aireación	4.5 longitud	Negro	1,087 gr/cm ³	11,99 %	39 %	5957 KJ/kg
87.5% de carbonilla + 12.5% aglutinante de almidón de yuca.	Cilíndrica 8cm y 1cm de orificio de aireación	4.5 longitud	Negro	1,089 gr/cm ³	12,00 %	39 %	6558 KJ/kg
85% de carbonilla + 15% aglutinante de almidón de yuca.	Cilíndrica 8cm y 1cm de orificio de aireación	4.5 longitud	Negro	1,089 gr/cm ³	11,98 %	37%	7826 KJ/kg

Tabla N° 29 Características de las briquetas de carbonilla, aserrín y aglutinante de yuca

Muestra/Propiedades	Forma	Tamaño	Color	Densidad	Humedad	Ceniza	Poder calorífico
48.75 % de carbonilla + 48.75% aserrín +2.5% aglutinante de almidón de yuca.	Cilíndrica 8cm y 1cm de orificio de aireación	4.5 longitud	Negro	1,090 gr/cm ³	12,19 %	70 %	2839 KJ/kg
47.5 % de carbonilla + 47.5% aserrín +5% aglutinante de almidón de yuca.	Cilíndrica 8cm y 1cm de orificio de aireación	4.5 longitud	Negro	1,089 gr/cm ³	12,07 %	72 %	3314 KJ/kg
46.25 % de carbonilla + 46.25% aserrín +7.5% aglutinante de almidón de yuca.	Cilíndrica 8cm y 1cm de orificio de aireación	4.5 longitud	Negro	1,090 gr/cm ³	12,23 %	69 %	4108 KJ/kg
45 % de carbonilla + 45% aserrín +10% aglutinante de almidón de yuca.	Cilíndrica 8cm y 1cm de orificio de aireación	4.5 longitud	Negro	1,089 gr/cm ³	12,27 %	69 %	4452 KJ/kg
43.75% de carbonilla + 43.75% aserrín +12.5% aglutinante de almidón de yuca.	Cilíndrica 8cm y 1cm de orificio de aireación	4.5 longitud	Negro	1,088 gr/cm ³	12,23 %	39 %	5449 KJ/kg
42.5 % de carbonilla + 42.5% aserrín +15% aglutinante de almidón de yuca.	Cilíndrica 8cm y 1cm de orificio de aireación	4.5 longitud	Negro	1,089 gr/cm ³	12,17 %	36%	5813 KJ/kg

3.11. Discusión

Esta investigación al ser la primera que se realizó con respecto a las briquetas elaboradas en base de carbonilla y aserrín con diferente porcentaje de aglutinante de almidón de yuca brinda una alternativa al uso de carbón vegetal.

Las briquetas elaboradas con los dos residuos, (carbonilla, aserrín) radica su importancia en los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas en comparación con otros estudios realizados sobre la elaboración de briquetas. Como una alternativa para reducir la contaminación, desmonte y aprovechar de diferentes residuos que no tienen un uso adecuado en nuestra ciudad.

El tamaño de partículas y CH de la materia prima que se utiliza para la elaboración de los prototipos de briquetas, influye en las propiedades físicas donde un menor tamaño de partículas y un bajo contenido de humedad favorece una mayor interacción y unión entre los componentes de la briquetas. Algunos autores que han trabajado en la elaboración de briquetas para bioenergía de aserrín y otra materia prima, califican como tamaño óptimo de partícula 3 mm y un contenido menor al 14 %. (Gallipoliti et al., 2017); (García E et al., 2018). Para el presente estudio se empleó carbonilla de 3mm a 5mm de tamaño y con un contenido de humedad que no supera el 12 % bajo estas condiciones se elaboró el primer prototipo de briquetas, en el otro prototipo se empleó aserrín 0.05mm de materia prima y un contenido de humedad 12%, bajo estas condiciones de interacción entre partículas de carbonilla, aserrín y almidón de yuca.

Los resultados para el índice de friabilidad indica que los dos prototipos de briquetas tienen una alta resistencia al desmoronamiento, pudiendo ser manipuladas y trasladadas sin perder la integridad (García E et al., 2018);(Rivera et al., 2015). Como se pudo observar en la (Tabla 17) y (Tabla 18), a partir de 10% de aglutinante de almidón de yuca tiene una gran resistencia al ser transportadas y manipuladas sin llegar a desintegrarse.

En la prueba de tiempo de quemado según (Reyes Martínez & Rodríguez, 2024) señala que en estudios durante el proceso de quemado de las briquetas tienen que superar las entre 45:00

min a 90 minutos, por otra parte como se puede apreciar en la (Tabla 19) ambos prototipos superan el tiempo de quemado superando el tiempo planteado por otros autores.

En la prueba de tiempo de ebullición según (Pavón Bastidas, 2019) señala que las briquetas elaboradas de un solo componente de materia prima tarda 50 minutos para que el agua llegue a su punto de ebullición dependiendo del tipo de aglutinante que se emplea, como se puede observar en la (Tabla 20) y (Tabla 21) observamos que el tiempo de ebullición del agua de ambos prototipos con diferentes porcentajes de residuos y aglutinantes, genera un mayor velocidad de combustión que alcanza más rápido el punto de ebullición de agua y temperatura máxima, lo cual refleja que hay diferencia entre tiempo y temperatura en la prueba de ebullición.

En la prueba de velocidad de combustión según (Rivera et al., 2015) determinaron que la velocidad de combustión de las briquetas varía dependiendo al material utilizado y condiciones que son sometidas para alcanzar su mayor combustión. Como se ve en la (Tabla 24) observamos que la velocidad de combustión respecto al porcentaje de aglutinante varía entre 1,8gr/min a 1gr/min; en el segundo prototipo como se observa en la (Tabla 25) varía entre 3,2gr/min a 1,8gr/min.

Para determinación del poder calorífico según (Reyes Martínez & Rodríguez, 2024) determinaron el poder calorífico en sus briquetas de 2479 KJ/Kg, en el presente estudio se cálculo el poder calorífico de las briquetas 2808 KJ/kg hasta 7826 KJ/kg y un tiempo requerido que oscila entre 52 y 165 minutos para alcanzar el poder calorífico en el segundo prototipo 2839 KJ/kg hasta 5813 KJ/kg y un tiempo requerido que oscila entre 35 y 132 minutos para alcanzar el poder calorífico.

El comportamiento poder del calorífico varia en función de diferentes porcentajes de mezcla de aglutinante de 2.5% a 15% evaluando la energía que libera cada prototipo de briqueta y el tiempo requerido en alcanzar el poder calorífico.

Aunque hay una comparación significativa entre ambos prototipos del poder calorífico se puede evidenciar que el mejor prototipo es las briquetas de carbonilla y aglutinante de yuca tomando en cuenta las otras pruebas realizadas favoreciendo a este prototipo.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se ha logrado cumplir con el objetivo de evaluar los parámetros de combustión de las briquetas. Para asegurar la exactitud de los resultados, se realizaron ensayos utilizando diversas proporciones de aglutinantes. Que permitió determinar el poder calorífico óptimo y la velocidad de combustión de las briquetas formuladas con diferentes combinaciones de combustibles, específicamente aserrín y carbonilla.
- Las briquetas analizadas para el índice de friabilidad presentan diferencias significativas en su composición, comportamiento y resultado; en relación al porcentaje de residuos de materia y aglutinante la friabilidad del primer prototipo varía de 3.2 (baja resistencia) con mayor porcentaje de residuo y menor porcentaje de aglutinante, donde se observó que a mayor porcentaje aglutinante y menor cantidad de residuo de carbonilla tiene un índice de friabilidad de 1.0 (alta resistencia); en el segundo prototipo se pudo observar que el índice de friabilidad varía desde 2.9 (baja resistencia) esto se debe a mayor porcentaje de residuos y menor cantidad de aglutinante, donde se observó que a mayor porcentaje aglutinante y menor cantidad de residuos tiene un índice de friabilidad de 1.0 (alta resistencia). Esto indica que ambos prototipos al superar el 10% de aglutinante funciona de mejor manera no dejando desintegrarse, al ser sometidas a la prueba de quemado conserva su estructura sólida hasta el punto de consumirse toda la briketa y que tiene un potencial calorífico mayor.
- Para la prueba de ebullición del agua; para poder determinar el poder calorífico se pudo evidencia que la briketa de carbonilla con aglutinante, tiene un poder calorífico superior a las briquetas de carbonilla, aserrín, aglutinante de yuca que se consume más rápido y en un tiempo más corto que el otro prototipo.

- En la determinación del tiempo de quemado; se pudo evidenciar que hay una diferencia muy significativa de tiempo, siendo superior en todo momento las briquetas de carbonilla y aglutinante, a comparación de las otras briquetas.
- Se pudo concluir de manera exitosa los parámetros esenciales para la elaboración de briquetas, para brindar de una alternativa al uso de carbón con desechos; así reducir la contaminación y aprovechar de mayor manera los residuos del carbón vegetal para su comercialización.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda manipular de manera adecuada la máquina artesanal para la elaboración de briquetas; para poder brindar un producto de buena calidad y eficiente para la ciudad de Tarija.
- Se aconseja; después del uso de los moldes y equipo de la máquina, lavar detalladamente para que no se pegue y quede residuos de la pasta de las briquetas.
- Se propone realizar más estudios de este tipo; para reducir la contaminación y dar uso a los residuos de biomas, así mayor aprovechamiento del bosque y recursos que nos brindan.
- Como una sugerencia a los estudiantes de la carrera; salir de la zona de confort, proponer ideas innovadoras que contribuyan al planeta, demostrar las capacidades que posee un ingeniero forestal en diferentes áreas y expandir estos nuevos proyectos innovadores a la sociedad.
- Continuar explorando diferentes proporciones de carbonilla y aserrín para identificar la combinación óptima que maximize el poder calorífico.
- Llevar acabo un análisis del ciclo de vida de las briquetas elaboradas para evaluar su impacto ambiental en comparación con el carbón tradicional.

- Realizar estudios del mercado para la comercialización de las briquetas a diferentes sectores que permita desarrollar estrategias de comercialización efectiva y aumentar la aceptación del producto al mercado.