

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En los últimos treinta años, la crisis energética mundial ha obligado a las empresas del sector industrial a buscar nuevas alternativas de fuentes de generación de energía a más bajo costo y con menos influencia negativa en el medio ambiente.

Se tendrá como base para el análisis entre otros, la elevada cantidad existentes de desechos de aserrín sin utilizar en la zona derivada de los procesos de aserraderos y carpinterías desechos que han llegado a transformarse en problemas para eliminar.

Las briquetas son productos ecológicos y renovables, entre las ventajas que ofrecen: energía limpia, fuente renovable, materia orgánica no tóxica y natural, que reduce las emisiones atmosféricas considerablemente en comparación con la leña.

Actualmente el uso de biocombustibles se ha convertido en una necesidad para el ser humano, son elaborados a partir de biomasa que es una fuente energética renovable, se emplean recursos vegetales o animales que son considerados residuos en diferentes industrias estos pueden ser materia orgánica o inorgánica utilizados para generar energía limpia.

Los recursos pueden ser: forestales, agrícolas, biodegradables, industria agroalimentaria, entre otros. La presente investigación trata sobre la elaboración de briquetas también llamadas biomasa sólida a base de aserrín de madera para el aprovechamiento de este residuo desechado por barracas y carpinterías, abundante de la industria forestal. Este estudio se realizó en la ciudad de Tarija provincia Cercado ubicado en el departamento de Tarija.

Una de las aplicaciones básicas de los desperdicios de madera es su uso como combustible, sin embargo, en los últimos tiempos el aprovechamiento de los mismos presenta grandes dificultades de empleo, almacenamiento y transporte, que han provocado la retracción del mercado consumidor, satisfecho a la vez otros productos que no tienen dichos inconvenientes. Una de las soluciones posibles es la aglomeración

de estos residuos formando piezas llamadas briquetas, es un taco de residuos de madera que arde con gran facilidad tiene forma cilíndrica, que se conserva, aunque se la manipule para transportarla. Esta forma fija se la conseguía hace algunos años aglutinando la madera con creosotas residuales de impregnación u otros productos sin embargo existen actualmente procedimientos que permiten realizar este proceso sin emplear ningún agente aglomerante que aumentaría enormemente los costos. **(Ricardo Vélez). (2013)**

El rápido incremento de las actividades humanas desde la revolución industrial ha causado un aumento descontrolado en los consumos de recursos naturales y energía en corto plazo. Los consumos en masa y una mayor producción influyen en la ecología y todos los procesos biológicos de la tierra, más el incremento desbordado de los recursos no renovables causa problemas ambientales relacionados con la contaminación del aire, el agua y el suelo **(Ivan Machado López). (2014)**

En la industria del mueble, en la que se procesa el tronco tal como viene desde el monte hasta que se transforma en tablas o en muebles, se producen grandes cantidades de aserrín, virutas, costaneros, desechos pequeños, etc., que se depositan en contenedores, formando grandes volúmenes que finalmente se queman, entierran o se abandonan en campos cercanos. Por ello, en el año 2013 Alexander Vera V inició el desarrollo de un proyecto investigativo denominado “elaboración de briquetas ecológicas para la generación de energía calórica y mejoramiento de ecosistemas”, logrando el diseño y estandarización de un biocombustible sólido mediante el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos y la incorporación de un aglomerante natural, sin el uso de aditivos o componentes tóxicos, como una fuente de energía alternativa viable y sostenible ambientalmente, teniendo en cuenta que su uso permite obtener un excelente rendimiento de masa/calor y la disminución de los porcentajes de emisiones en humo, olores y material particulado; así como del consumo de la leña utilizada en actividades domésticas de las zonas urbanas y rurales del municipio, además de contribuir significativamente a la preservación y conservación de los recursos naturales existentes.

1.1 Justificación

El uso de la leña para la cocción de alimentos es habitual en muchos lugares debido a que no cuentan con otra fuente para su necesidad de generar energía calorífica lo cual con el transcurrir del tiempo ha creado gran problema ambiental con la disminución de combustible, por otra parte la gran cantidad de desperdicios de madera que se votan al hacer aprovechamiento y seccionado de maderas en distintos aserraderos y barracas de la ciudad y por la fácil accesibilidad de poder obtener la materia prima nos dio una pauta para poder realizar un trabajo sobre la investigación de la elaboración de briquetas de residuos de madera (aserrín) de las especies maderables existentes en nuestro medio y así poder evaluar distintos parámetros y poderlos poner como alternativas ante nuestra sociedad.

1.2 Hipótesis

Al transformar el aserrín en briquetas, se logrará obtener un producto de biomasa, como también reduciendo el consumo específico de combustibles y además se presenta una alternativa con perfil ecológico que podrá disminuir el daño medio ambiental.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Desarrollar la producción artesanal de briquetas con residuos de aserrín disponible en barracas y carpinterías.

1.3.2 Objetivo específico

- Diseñar y evaluar el desempeño de un prototipo de máquina para la elaboración briquetas artesanales.
- Evaluar el efecto del material aglomerante papel periódico procesado y almidón de yuca en la elaboración de las briquetas que permita:

- Evaluar la resistencia a la fragmentación mecánica de las briquetas a través de la prueba de friabilidad.
- Determinar la eficiencia del combustible, por medio de la combustión en prueba de ebullición de agua.
- Determinar la presión ejercida por la prensa artesanal.

CAPÍTULO II

2. Revisión Bibliográfica

2.1 BIOMASA

2.1.1 Concepto de Biomasa

El concepto de biomasa comprende todos los productos de origen vegetal y animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial, excluyendo los combustibles fósiles, porque a pesar de que deriven de materiales biológicos, con el tiempo han sufrido transformaciones que han alterado su naturaleza.

Castro. P, (2007)

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. **Ramos, (2008).**

2.1.2 Biocombustibles leñosos

Son clasificados en: Sólidos (aserrín, viruta, carbón, pellets, briquetas, etc.), líquidos (licor negro, metanol, etc.), y 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.). **FAO (2004).**

2. 2 Materiales Densificados

La densidad de la madera es un proceso de compresión y compactaciones de la biomasa residual (aserrín), que permite aumentar su densidad y modificar sus propiedades físico-químicas para obtener características más eficientes y de fácil almacenamiento.

La elaboración secundaria de la madera ocupa volúmenes de 20 a 25 % de materia prima utilizada. El proceso de densificación permite almacenar considerables cantidades de energía, reduciendo la necesidad de espacio y mantener siempre seco fácilmente y un mejor uso **(José Fernando Martirena) (2014)**

2.3 Friabilidad

Según la Real Academia de la Lengua un material es friable cuando se desmenuza fácilmente. La friabilidad es una variable muy importante en las briquetas porque están siendo manipuladas continuamente.

Para evaluar la friabilidad de las briquetas, se utiliza 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 del índice FR es siempre mayor o igual a 1, a mayor valor de FR mayor será la friabilidad y, por tanto, menor la resistencia al golpeteo.

2.4 Determinación de la friabilidad

Sobre el suelo cerámico se mide una altura de 1 m, y se pone una marca, desde donde serán lanzadas las briquetas, a fin de determinar su friabilidad.

2.5 Especificaciones Técnicas de Briquetas

Las briquetas son biocombustibles (generalmente de origen lignocelulósico), formados por la compactación de biomasa. Principalmente se usa como materia prima los residuos de madera (astillas y aserrín); sin embargo, a veces, están formadas por la compactación de cualquier tipo de residuos como: restos de tableros de fibra, residuos agrícolas, polvo de lijado, corteza, etc. (**Camps y Marcos, 2002**).

Las briquetas son bloques sólidos, utilizados como biocombustibles, provenientes de distintos materiales residuales conocidos como biomasa, tipo de cascarilla de arroz, de café, de caña de azúcar, pulpa de papel, cascaras de coco, cartón, carbón, aserrín entre otros, usados por la industria para generar industria calorífica (**Barrera Otálora, 2011**).

En términos de briquetas es un poco confuso debido a que se fabrican con varios materiales compactados, en forma de cilindros, rectangular y redondos con el fin de sustituir la leña. La materia prima para la elaboración de briquetas puede ser de biomasa forestal, industrial residual, carbón vegetal o la muestra de todas ellas. Estas leñas compactadas son utilizadas para cocción de alimentos, calefacción y uso industrial para la fabricación de ladrillos, cal, cemento, metalurgias, secadores, tostadores y demás procesos que consumen grandes cantidades de madera (**Pacheco, J**) (1999)

2.6 Papel

El papel es fabricado con fibras de celulosa que se encuentran en la madera, son molidas, blanqueadas, desleídas en agua, secadas y endurecidas posteriormente, las fibras de papel están aglutinadas mediante enlaces por puentes de hidrógeno.

Al distribuir el papel con la materia prima, reduce la porosidad de la briqueta y aumenta la compactibilidad y rigidez de la misma.

2.7 Aglomerante

Materiales aglutinantes son productos pulverizados que, cuando se mezclan con agua, sufren unas transformaciones químicas que producen su endurecimiento al aire o bajo el agua. La fabricación de briquetas a bajas presiones suele requerir de aglutinantes como arcilla, almidón, alquitrán. Aunque el aglutinante no combustible disminuye el valor calorífico de la briqueta y aumenta el contenido de cenizas, proporciona un combustible que de otra manera no podría aprovecharse. Los aglomerantes son materiales capaces de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al

conjunto por métodos exclusivamente físicos; en los conglomerantes es mediante procesos químicos.

2.7.1 Almidón

El almidón se obtiene de las raíces de mandioca (yuca), papa, de los granos del arroz o del grano de maíz desgerminado.

Como agente aglutinante y precipitador de las fibras de celulosa del papel y cartones, flexibilizante y mejorador de textura y resistencia. Como aglutinante en briquetas de materiales orgánicos, siendo el de yuca uno de los mejores almidones utilizado principalmente para carbón vegetal o cascarilla de arroz, se usa en este campo por presentar muy buenas propiedades de cohesión para este tipo de material, y además de bajo costo respecto a otros aglutinantes.

2.8 Calor

El calor es la cantidad de energía cinética que se encuentra en una molécula, y el proceso por el cual esta energía se transfiere de un cuerpo a otro. Al hablar de las propiedades térmicas de la madera, se dice que debido a que este material tiene poros llenos de aire, es un mal conductor del calor. Además, aunque sea un material inflamable con facilidad, al quemarse se carbonizan sus partes externas, haciendo que la difusión del calor hacia el interior sea más lenta. Debido a estas características, las briquetas de aserrín se queman lentamente y no con una llama intensa.

2.9 Determinación de la eficiencia del combustible

2.9.1 Prueba de agua hirviendo

La prueba del agua hirviendo (“The Water Boiling Test” WBT) es un protocolo desarrollado para simular el proceso de cocción, que ayuda a los diseñadores de estufas a comprender la transferencia de energía del combustible a la olla y al producto final en este caso el alimento. Se puede realizar en la mayoría de estufas del mundo. Esta prueba no pretende sustituir otras formas de evaluar una estufa, sin embargo, es un método sencillo que permite evaluar las estufas hechas en diferentes lugares para

diferentes propósitos. Esta prueba es un test estandarizado y reproducible, basadas en condiciones generales de la NTC 2060. **(Bailis. 2007).**

Para el estudio se decidió usar el WBT por los siguientes motivos: se trata de una prueba de fácil aplicación, utiliza agua en las fases de evaluación y se trata de una prueba de ambiente controlado.

2.10 Humedad de las Briquetas

La humedad de la briqueta es función de la forma en que se suministre el producto. Como el proceso de prensado que sufre la materia prima hasta convertirse en briquetas que suelen utilizar partículas secas (humedad menor del 12% base húmeda) y además en el mismo se seca aún más la partícula, al final la humedad de la briqueta resulta ser de un 8-10 % a la salida de la prensa.

2.11 Combustión

La combustión es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de energía, en forma de calor luz, manifestándose visualmente como fuego. En toda combustión existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente), generalmente oxígeno. Los explosivos tienen oxígeno ligado químicamente por lo que no necesitan el oxígeno del aire para realizar la combustión.

Los tipos más frecuentes de combustible son los materiales orgánicos que contienen carbono e hidrógeno. En una reacción completa todos los elementos tienen el mayor estado de oxidación. Los productos que se forman son el dióxido de carbono (CO_2) y el agua, el dióxido de azufre (SO_2) (si el combustible contiene azufre) y pueden aparecer óxidos de nitrógeno (NO_x), dependiendo de la temperatura y la cantidad de oxígeno en la reacción.

En la combustión incompleta los productos que se queman pueden no reaccionar con el mayor estado de oxidación, debido a que el comburente y el combustible no están en la proporción adecuada, dando como resultado compuestos como el monóxido (CO). Además, pueden generarse cenizas. **(Metrogas, 2012)**

2.12 Tipología de la Máquina Artesanal.

Las máquinas para elaborar briquetas de aserrín, fueron creadas por el hombre para disminuir el esfuerzo utilizado al momento de realizar un trabajo las primeras máquinas desarrolladas se conocen como maquinas simples (**Laura María Archila Castrillo 2015**).

En este proceso lo que importa es conformar las briquetas y obtenerlas de una forma no continua, presión de compactación, tiempo y forma de secado.

CAPÍTULO III

3. Materiales y métodos

En el presente estudio se utilizaron los siguientes materiales que se detallan a continuación:

3.1 Materiales

- Aserrín
- Agua
- Prensa Hidráulica Artesanal
- Papel periódico
- Almidón
- Licuadora
- Batidora
- Baldes
- Molde para briquetas
- Cámara fotográfica
- Planillas
- Lápiz
- Balanza
- Termómetro
- Flexómetro

3.2 Metodología

El proyecto investigativo *Ensayo de Aprovechamiento del aserrín de madera para la elaboración de briquetas con fines de combustión*; está a base de una metodología exploratoria con un diseño cuantitativo y como herramienta la Norma Técnica Colombiana 2060, que se desarrolló en dos fases disciplinarias, el mismo se llevó a cabo en la ciudad de Tarija, teniendo en cuenta que en la ciudad contamos con los ambientes y recursos necesarios.

En base a lo anterior, se ha definido implementar un sistema de producción artesanal; ya que está fundamentada en la realidad, orientado a descubrir y describir un biocombustible sólido y nos permitirá obtener datos reales, dinámicos y profundos.

El trabajo, consiste en la elaboración de una maquina artesanal y la pasta para las briquetas, elaborados con importantes materiales bases como ser aserrín, papel periódico, almidón y agua, con el fin de analizar el comportamiento de la variable rendimiento masa/tiempo y determinar el rendimiento con respecto al uso de la leña.

Durante el proceso de llenado y prensado de briquetas se realizó la toma de datos para el control de peso y tamaño de las briquetas, factores que son determinantes en la perdida de humedad.

Finalmente, con las briquetas obtenidas, se realizó prueba de friabilidad, prueba de combustión con las diferentes briquetas y el tipo de aglomerante ocupado.

3.2.1 Briquetas de aserrín

Las briquetas están fabricadas con aserrín resultante del proceso de aserrado de la madera. Los beneficios de este tipo de briquetas son: **(Pantuhan, s.f.) (2013)**

Ya que las briquetas se producen comprimiendo material combustible, son más densas, fuertes y compactas. El proceso de compresión “permite que las briquetas se quemen más lentamente que cuando se encuentra el residuo de material en su forma original.” **(Pantuhan, s.f.) (2013)**

La compresión de las briquetas también “permiten un calor más intenso comparado con otros elementos de combustión” **(Pantuhan, s.f. 2013)**, ya que tienen un valor termal más alto y hasta 30% menos contenido de ceniza (comparado con el carbón), y la poca ceniza que producen puede ser utilizada como abono.

Como una propiedad única, este tipo de briquetas no produce gases o químicos tóxicos. La materia prima (aserrín) se encuentra disponible fácilmente.

3.2.1.1 Forma y Tamaño

La forma de las briquetas puede ser muy variable y depende de la máquina en su obtención. Sin embargo, casi todas las briquetas fabricadas en la actualidad son de forma cilíndrica (**Camps y Marcos, 2002**).

En esta máquina se introduce la pasta realizada y así en segundos obtendremos las briquetas de 15 cm de altura y 8 cm de diámetro.

3.2.2 Construcción de la máquina

Diseño de la máquina

La máquina artesanal está elaborada con materiales de metal, con tres partes esenciales: marco estructural, gata hidráulica y moldes.

La prensa hidráulica está sujeta al marco estructural por la parte superior e inferior de manera tal que soportará toda presión sometida por la gata hidráulica. Los moldes inferiores donde se coloca la mezcla previa y usando una especie de émbolo de menor medida que compactará a las briquetas.

CAPÍTULO IV

4. Resultados y Discusión

4.1 Especificaciones de la máquina

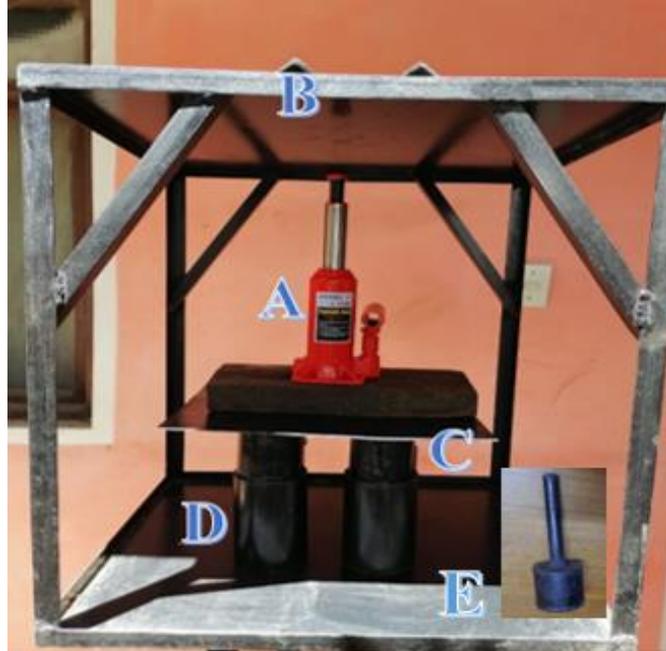
La máquina artesanal para la fabricación de briquetas, está construida a base de metales y una gata hidráulica. Es una maquina simple de base cuadrada formada por acero angular y plancha de 3/8 pulgadas, para los moldes de briquetas se utilizó tubo 8 cm de diámetro y una gata de capacidad 4 ton, la prensa está bien reforzada para poder soportar la presión que se ejercerá, su fabricación llevó una semana y media.

Para la fabricación de la máquina prensadora el costo es de 800 Bs ya que no se utilizó mucho material (planchas y angulares de hierro).

4.1.1 Descripción de la prensa hidráulica

Partes de la máquina y función

La prensa hidráulica está fabricada de la siguiente manera:



Fuente: elaboración propia. 2022

Parte	Imagen	Función	Observación
A. Gato Hidráulico.		Para ejercer presión en el proceso de compresión de las briquetas.	Capacidad de 4 toneladas
B. Base o Esqueleto de la Prensa		Soporte superior e inferior como laterales que soportara toda la fuerza ejercida por el gato hidráulico	70 cm de alto, 50 cm de ancho y 50 cm de fondo
C. Pieza de Presión		Base plana con 4 cilindros cerrados para ejercer fuerza sobre los moldes y compactar las briquetas a realizar	Base de 30 cm cuadrado y los cilindros de 12 cm soldados en la base
D. Moldes Cilíndricos		Moldes cilíndricos los mismos son móviles para poder sacar las briquetas compactadas de su interior	de 15 cm de altura y 8 cm de diámetro.

<p>E. Extractor de briquetas</p>		<p>Artefacto para sacar las briquetas del molde con más facilidad.</p>	
---	---	--	--

Fuente: Elaboración propia.

Proceso de funcionamiento de Máquina

Para el funcionamiento de la maquina primeramente se llenan los 4 moldes con la pasta, se ponen los moldes en la base central donde están debidamente marcados para luego poner encima la pieza de presión, después se pone la gata hidráulica y se procede a dar uso y por últimos se saca las briquetas del molde y ponerlas a secar por el lapso de 10 días.

De acuerdo al trabajo realizado en 15 minutos se produce 4 briquetas, podemos decir que en una hora la maquina produce 16 briquetas.



Ventajas de la Máquina

Ventajas.

- Se obtiene briquetas sólidas
- No requiere consumo de energía eléctrica.
- El tamaño facilita el transporte de la máquina
- La briqueta sale con facilidad del molde
- Fácil limpieza de los moldes

4.2 Elaboración de la pasta y distribución del aglomerante

Para la realización de la pasta se utiliza 3 componentes/materiales básicos:

	1	2	3
Materiales	Aserrín	Periódico	Agua
Cantidades	2 Kg.	18 paginas dobles	3 Lts.

El proceso que se seguirá para la obtención de la pasta para briquetas con aglomerante papel periódico será el siguiente:

1. El aserrín y papel periódico (cortado en cuadritos) se mantuvo en remojo durante tres días. Esto se hizo con la intención de obtener una mezcla de papel pastosa, también conocida como papel maché. El aserrín se mantiene en remojo para que este absorba agua en sus partículas y sea más fácil de mezclarse con el papel.
2. Se licuó el papel periódico para obtener las consistencias deseadas.
3. Se utiliza una batidora para que los materiales se mezclaran uniformemente y obtener el material final de las briquetas.
4. Se colocó el material en moldes hechos con tubo de metal y se les aplicó presión con una prensa artesanal mediante gata hidráulica.
5. Después de aplicar la presión se extrae las briquetas del molde.
6. Se dejó secar las briquetas bajo el sol durante una semana, midiendo longitud y peso diariamente.

Para la realización de la pasta se utiliza 3 componentes/materiales básicos:

Materiales	1	2	3
	Aserrín	Almidón	Agua
Cantidades	2 Kg.	1 Kg.	3,5 Lts.

El proceso que se sigue para la obtención de la pasta para briquetas con aglomerante de almidón es el siguiente:

1. El aserrín se mantiene en remojo durante tres días. Esto se hará con la finalidad de obtener una mezcla pastosa.
2. El almidón se mezcla con agua tibia para tener un aglomerante viscoso.
3. Luego se mezcla ambos componentes y se deja reposar por tres días.

4. Se coloca el material en moldes hechos con tubo de metal y se les aplica presión con una prensa artesanal mediante gata hidráulica.
5. Luego de aplicar la presión se extrae las briquetas del molde.
6. Se deja secar las briquetas bajo el sol durante una semana y mide la longitud y el peso de las mismas.

4.3 Determinación del porcentaje de humedad

Para la determinación del porcentaje de humedad se hace secar al aire libre expuestas al sol y al aire, se hace el control de peso y medidas por el lapso de 10 días hasta obtener un peso constante.

Tabla N° 1 Determinación de humedad briquetas con aglomerante periódico.

Briquetas con aglomerante periódico					
N° Código	Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	Agua perdida	Humedad %	Materia seca %
1 A	400	170	230	58	42
2 A	450	210	240	53	47
3 A	410	180	230	56	44
4 A	430	190	240	56	44
5 A	450	200	250	56	44
6 A	460	210	250	54	46
7 A	450	220	230	51	49
8 A	460	220	240	52	48

9 A	480	200	280	58	42
10 A	500	210	290	58	42
11 A	500	210	290	58	42
12 A	500	190	310	62	38
13 A	500	210	290	58	42
14 A	500	200	300	60	40
15 A	500	190	310	62	38
Media	460	200	250	57	43
Desviación	33.43	13.89	29.86	3.12	3.12
Coef var	0.0727	0.0694	0.1194	0.0550	0.0723
Varianza		270			
Contra.Med		3.79			

Para la determinación de la humedad se utilizó la fórmula:

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

Donde:

Ph= Peso húmedo de las briquetas

Ps= Peso seco de las briquetas

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

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

Donde:

Ph= Peso húmedo de las briquetas

Ps= Peso seco de las briquetas

Tabla N° 2 Determinación de humedad briquetas con aglomerante almidón.

Briquetas con almidón					
N° Código	Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	Agua perdida	Humedad %	Materia seca %
1B	520	260	260	50	50
2B	520	260	260	50	50
3B	530	260	270	51	49
4B	520	270	250	48	52
5B	540	270	270	50	50
6B	550	270	280	51	49
7B	520	270	250	48	52
8B	530	280	250	47	53
9B	520	280	240	46	54
10B	550	280	270	49	51
11B	530	270	260	49	51
12B	530	270	260	49	51

13B	550	290	260	47	53
14B	550	280	270	49	51
15B	550	260	290	53	47
Media	530	270	260	49	51
Desviación	12.54	8.84	12.36	1.63	1.63
Coef var	0.0237	0.0328	0.0476	0.0333	0.0321
Varianza		221			
Contra.Med		3.79			

Para la determinación de la humedad se utilizó la fórmula:

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

Donde:

Ph= Peso húmedo de las briquetas

Ps= Peso seco de las briquetas

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

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

Donde:

Ph= Peso húmedo de las briquetas

Ps= Peso seco de las briquetas

Una vez calculada el contraste de media tenemos como resultado que:

$$T_c=3,79 > t_t = 1,3450$$

Por lo que decimos que existe diferencia significativa en el valor de peso seco que tiene mayor el resultado de la varianza.

4.4 Determinación de Friabilidad

Sobre el suelo cerámico se midió una altura de 1 m, y se puso una marca, desde donde se dejaron caer las briquetas, a fin de determinar su friabilidad, se utilizaron 15 briquetas con aglomerante periódico y 15 briquetas con aglomerante almidón. Los resultados se anotan en la siguiente tabla.

Tabla N° 3 Determinación de friabilidad

	Periódico			Almidón	
N°	Numero	de	N°	Numero	de
	fragmento			fragmento	
1A	2		1A	1	
2A	1		2A	1	
3A	3		3A	1	
4A	2		4A	1	
5A	2		5A	1	
6A	2		6A	1	
7A	2		7A	2	
8A	2		8A	1	
9A	2		9A	2	
10A	1		10A	1	
11A	2		11A	1	

12A	1	12A	1
13A	2	13A	1
14A	2	14A	1
15A	2	15A	1
	28		17

Con el resultado obtenido en la tabla anterior podemos decir que:

En relación a las briquetas con aglomerante papel periódico de 15 briquetas sometidas a la prueba, se terminó en 28 fragmentos es decir tenemos un 80 % de briquetas fragmentadas, con lo cual decimos que se fragmentaron 12 briquetas de las 15 sometidas a la prueba de friabilidad.

$$12 / 15 = 0.80 * 100 = 80 \%$$

De las briquetas con aglomerante almidón de 15 briquetas sometidas a la prueba tenemos 17 fragmentos por lo tanto decimos que existe un 13 % de las briquetas fragmentadas, es decir solo 2 briquetas se fragmentaron.

$$2 / 15 = 0.13 * 100 = 13.33 \%$$

Realizando la prueba de índice de friabilidad y de acuerdo a la fórmula de FR tenemos como resultado lo siguiente:

Índice de friabilidad de Prueba A

$$FR = \frac{28}{15} = 1.87$$

Índice de friabilidad de Prueba B

$$FR = \frac{17}{15} = 1.13$$

Tabla N° 4 índice de friabilidad

Tipo de aglomerante	Numero de briquetas	Briquetas al inicio del ensayo (NI)	Fragmentos al final del ensayo (NF)	Índice de friabilidad
Papel Periódico	15	15	28	1.87
Almidón	15	15	17	1.13

Una vez realizada la prueba de friabilidad en ambos ensayos podemos concluir que:

Al tener en cuenta que el índice de friabilidad es 1.87 en las briquetas con aglomerante papel periódico, esto quiere decir que estas briquetas son friables por lo tanto se desintegran con mayor facilidad al recibir golpes.

El índice de friabilidad de las briquetas con aglomerante de almidón es de 1.13, por lo cual este aglomerante funciona de mejor manera no dejando desintegrar la briqueta.

4.5 Determinación de la combustión

Después de fabricadas briquetas con diferentes características se procedió a la combustión de las mismas para medir su tiempo de quemado se usó 500 g de briquetas. Para su encendido se utilizó un acelerador con el cual se hizo un encendido rápido, y se logró una llama la misma que sirvió para hacer hervir agua con los dos tipos de aglomerante.

En la combustión se pudo observar que las briquetas con ambos aglomerantes desprendían un fuego de color naranja, las briquetas con aglomerante almidón son las que expulsaron menos humo en la combustión.

Se realizó una sola repetición para ambos tipos de aglomerante.

Tabla N° 5 Tiempo de quemado de briquetas

Briquetas	Tiempo de quemado	Dif. de tiempo
Papel periódico	20:35:45 min	
Almidón	22:47:59 min	
		2:12:14 min

Una vez realizada la combustión de briquetas con aglomerante periódico y de briquetas con aglomerante almidón las cuales se hizo una sola repetición.

Al determinar el tiempo de quemado podemos decir que las briquetas con aglomerante almidón tienen una diferencia de 2 minutos, 12 segundos en mantener por más tiempo en combustión.

4.6 Determinación de tiempo de ebullición del agua

Para determinar el tiempo de ebullición se hizo hervir 1 litro de agua en un kilogramo de briquetas con aglomerante papel periódico y también en briquetas con aglomerante almidón.

Al realizar la prueba se agruparon cinco briquetas para iniciar la prueba y se procedió al encendido con un acelerador, se puso una rejilla para detener la olla con agua y se tomó en cuenta el tiempo de ebullición.

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

$$\text{Tiempo de Ebullición} = T_f - T_i$$

Donde

T_i = tiempo inicial de la prueba (min)

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

Tabla N° 6 Tiempo de ebullición

Briquetas	Temperatura inicial	Temperatura final	Temperatura ambiente	Tiempo de ebullición	Tiempo de quemado
papel periódico	25°C	100 °C	28 °C	11:15:43 min	20:35:45 min
Almidón	25°C	100 °C	28 °C	10:12:30 min	22:47:59 min

Tabla N° 7 Tiempo de ebullición de comparación

Componente	Temperatura inicial	Temperatura final	Temperatura ambiente	Tiempo de ebullición
Gas	23°C	100°C	21°C	06:26:91 min
Carbón	23°C	100°C	21°C	13:33:10 min

Una vez realizada la prueba de tiempo de ebullición en ambos tratamientos se determina que el tiempo empleado para que el agua pueda hervir con las briquetas con aglomerante papel periódico es de 11 minuto 15 segundos.

Por otro lado, el tiempo empleado para hervir el agua con las briquetas de aglomerante almidón es de 10 minutos 12 segundos.

4.7 Consumo específico de combustible

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:

$$\text{Consumo específico} = \text{PI} - \text{PF}$$

Donde:

PI= peso inicial de las briquetas (g)

PF= peso final del residuo obtenido (g)

Consumo específico briquetas con aglomerante papel periódico

Para determinar el consumo específico de las briquetas se pesó 500 gramos de las mismas y se procedió a la prueba donde obtuvimos el siguiente resultado.

$$\text{CE} = \text{PI} - \text{PF}$$

$$\text{CE} = 500 \text{ gr} - 175 \text{ gr}$$

$$\text{CE} = 325 \text{ gr}$$

Consumo específico briquetas con aglomerante almidón

De igual forma para determinar el consumo específico de briquetas con aglomerante almidón se pesó 500 gramos, obteniendo el siguiente resultado.

$$\text{CE} = \text{PI} - \text{PF}$$

$$\text{CE} = 500 \text{ gr} - 160 \text{ gr}$$

$$\text{CE} = 340 \text{ gr}$$

Una vez determinado el consumo específico en ambos tratamientos podemos decir que en las briquetas con aglomerante almidón tiene un consumo específico inferior al de las briquetas con aglomerante de papel periódico como se ve en los cálculos anteriores.

4.8 Velocidad de combustión

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

Se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad de combustión} = \frac{CE}{TE}$$

Donde:

CE = Consumo específico

TE = Tiempo de ebullición

Velocidad de combustión de briquetas con aglomerante papel periódico

La velocidad de combustión para estas briquetas se sacó el siguiente resultado:

$$VC = \frac{CE}{TE} \quad VC = \frac{325gr}{11min} \quad VC = 29,54 \frac{gr}{min}$$

Velocidad de combustión de briquetas con aglomerante papel periódico

La velocidad de combustión para estas briquetas se sacó el siguiente resultado:

$$VC = \frac{CE}{TE} \quad VC = \frac{340gr}{10min} \quad VC = 34 \frac{gr}{min}$$

4.9 Determinación de la presión

Se determinó la presión ejercida por la prensa artesanal donde se obtuvo el siguiente valor.

Para la determinación de la presión se utilizó la fórmula:

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde:

d= diámetro del cilindro metálico

h= altura del cilindro metálico

F= fuerza del gato hidráulico

$$P = \frac{4000\text{kg}}{\frac{\pi}{4}(8)^2\text{cm}^2} = 79,6\text{kg/cm}^2$$

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. Conclusiones.

- ❖ Se cumplió con el objetivo propuesto de desarrollar la máquina artesanal para producir briquetas, siendo esta una alternativa viable para la elaboración de briquetas. Con esta máquina es posible hacer briquetas de otro tipo de biomasa.
- ❖ Se concluye que el aglutinante óptimo en estas pruebas es el almidón, de acuerdo a la friabilidad tienen una mayor resistencia teniendo menos fragmentación a comparación de las briquetas con aglomerante papel periódico.
- ❖ En la determinación de la eficiencia del combustible tenemos como resultado que las briquetas con aglomerante almidón obtienen mayor consumo específico de combustible en comparación a las briquetas con aglomerante papel periódico. En la velocidad de combustión determinamos que las briquetas con aglomerante almidón tienen mayor velocidad de combustión.
- ❖ En la prueba de ebullición del agua de igual manera las briquetas con aglomerante almidón obtuvieron un mejor resultado ya que presentaron un mayor tiempo de combustión.
- ❖ Se obtuvo la presión ejercida por la máquina artesanal la cual es óptima para la fabricación de briquetas.

5.1 Recomendaciones

- ❖ Se recomienda después de la utilización lavar la máquina y moldes con bastante agua, así eliminando todo rastro de pasta que pueda quedar en la misma.
- ❖ El proceso artesanal para realizar briquetas, además de poder realizarse en cualquier lugar, puede brindar oportunidades de trabajo.
- ❖ Las mezclas de papel periódico con aserrín les brindan a las briquetas una buena estructura, pero hace falta incluir más porcentaje de periódico para que pueda resistir a la prueba de friabilidad.
- ❖ Se recomienda como complemento de este estudio el desarrollo de nuevos proyectos de investigación y expandir ideas innovadoras para demostrar cual importante son los recursos naturales que tenemos a disposición.
- ❖ Se recomienda poner más cilindros en la máquina prensadora, para que la producción aumente de 4 a 8 o 10, si es con fines de económicos.