

## Biofuel “propuesta alternativa ecológica con el fin de suplir la demanda energética; para calderas, calefacción y cocinas para zonas rurales, suburbanos y urbanos”

Liz Paola Rodríguez Altamirano

[rodriguezliz432@gmail.com](mailto:rodriguezliz432@gmail.com)

Carrera: Ingeniería Ambiental - Facultad De Ciencias Aplicadas  
Universidad Nacional De Pilar

### RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de diseñar y crear un biocombustible a base de mezclas de diferentes porcentajes de residuos orgánicos, valiéndose de principios físicos básicos para determinar la fuerza que se ejerce para prensar las briquetas, para su posterior utilización con fines domésticos; buscando promover el ahorro económico, energético, la sensibilidad ambiental y además de la educación, tomando en cuenta para el diseñado el uso de residuos orgánicos como son la hoja de papel, el cartón, el aserrín, la carbonilla de arroz, la paja y las hojas de los árboles, sin la necesidad de utilizar la energía eléctrica para su elaboración, utilizando herramientas de fácil elaboración y adquisición; Para los Análisis Técnico se procedió dividir en tres etapas fundamentales para 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 y finalizando con la etapa de evaluación; en donde se observó el funcionamiento en cuanto al aspecto físico, el tiempo de ebullición, consumo de combustible en gramos, la eficiencia térmica; logrando comprobar que la briketa 3, en donde está hecha de 60% Aserrin y 40% de Papel es la mejor opción.

**Palabras Clave:** *briquetas; biocombustibles; principios físicos básicos de presión.*

Correspondencia: [rodriguezliz432@gmail.com](mailto:rodriguezliz432@gmail.com)

Artículo recibido 10 agosto 2022 Aceptado para publicación: 10 septiembre 2022

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Rodríguez Altamirano, L. P. (2022). Biofuel “propuesta alternativa ecológica con el fin de suplir la demanda energética; para calderas, calefacción y cocinas para zonas rurales, suburbanos y urbanos”. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 5310-5334. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i5.3499](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3499)

## Biofuel “ecological alternative proposal in order to meet the energy demand; for boilers, heating and cooking for rural, suburban and urban areas”

### ABSTRACT

The present work was carried out with the objective of designing and creating a biofuel based on mixtures of different percentages of organic waste, using basic physical principles to determine the force that is exerted to press the briquettes, for later use for domestic purposes; seeking to promote economic savings, energy, environmental sensitivity and education, taking into account for the design the use of organic waste such as paper, cardboard, sawdust, rice, straw and strawberries. leaves of the trees, without the need to use electrical energy for its elaboration, using tools of easy elaboration and acquisition; For the Technical Analysis it was proceeded to divide into three fundamental stages for the evaluation of the physical and chemical parameters of the briquettes which are the following: stage of preparation of the briquettes, pre-evaluation stage and ending with the evaluation stage; where the operation was observed in terms of physical appearance, boiling time, fuel consumption in grams, thermal efficiency; managing to verify that the briquette 3, where it is made of 60% Sawdust and 40% of Paper is the best option

**Keywords:** briquettes; biofuels; basic physical principles of pressure.

## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático, motivado en gran medida por el aumento de la demanda energética, es una preocupación mundial; actualmente, el mundo se encuentra en un periodo de crisis energética, ya que, dentro de algunos años, se espera la disminución de la producción mundial de petróleo. Mientras tanto, la demanda mundial no deja de aumentar empeorando el problema. Sin embargo; existen alternativas que pueden aportar un poco contra la crisis energética, es el caso de la elaboración de briquetas de residuos orgánicos (biomasa), que podrían ser útiles para ciertas áreas de la economía que utilizan combustibles sólidos como leña u otros que pueden ser caros y rendir menos. Se analizó la posibilidad de producir briquetas a partir de múltiples combinaciones de residuos orgánicos de fácil adquisición para zonas rurales, suburbanas y urbanas (aserrín, hoja de papel, cartón, hojas de árboles, carbonilla de arroz, pastillo seco y combinaciones), prensado los materiales mediante un herramienta de elaboración casera; que sea sencillo, económico y eficiente; mediante maderas unidas transversalmente, y dentro de un tubo en donde se depositarían las materias primas, optimizando el prensado manual sin ningún equipo especial para el mismo, potenciado además mediante la combinación en diferentes porcentajes de las materias primas para lograr una briqueta con un alto poder calorífico, como fuente de energía económica y renovable que ayude a proteger el medio ambiente y contribuya a evitar la deforestación de los bosques, fácilmente adaptable a cualquier fuente de generación de energía y con mayor facilidad de transporte y almacenaje que otros productos sustitutos; y que a la vez sea capaz de convertirse en una fuente de ingreso para el que lo produzca.

Se determinó las propiedades físico-químicas de las materias primas y del producto, tales como humedad, densidad, porcentaje de cenizas, poder calorífico, dureza. De igual manera se analizó los beneficios de su uso y el costo de producirlo.

Con el crecimiento acelerado de la población y paralelamente la demanda por especies maderables y no maderables también crece, el proceso de deforestación cada vez se hace más intensivo, ya que una de las principales causas es por el uso de los árboles como combustibles en las poblaciones rurales, generando conflictos ambientales como el calentamiento global como problemática mundial y daños irreversibles hacia nuestros ecosistemas y a la salud de las poblaciones, esto genera en el planeta una crisis energética por el excesivo uso de combustibles fósiles: la utilización de la energía por

parte de la industria como el carbón o el gas natural para generación de calor y el petróleo para el combustible, la combustión de los fósiles genera emisiones de gases que perjudican al planeta: dióxido de carbono, monóxido de carbono, entre otros, y que contribuyen a generar y potenciar el efecto invernadero. Además, estos generan la lluvia ácida, la contaminación del aire, suelo y agua.

El presente trabajo tuvo como objetivo general: Diseñar y crear un biocombustible a base de mezclas de diferentes porcentajes de residuos orgánicos, logrando conseguir con producto de fácil elaboración, económico en cuanto su desarrollo y procesamiento; y eficiente a la hora de realizar la combustión. Y los objetivos específicos: Elaborar briquetas a partir de residuos orgánicos. Comparar poder calorífico de biocombustibles a base de residuos orgánicos con la leña. Comparar la emisión de cenizas al suelo de biocombustibles a base de residuos orgánicos con la leña y carbón y Medir el poder calorífico de las materias primas para la elaboración del combustible mediante calorimetría

## **2. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS O MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación pretende fundamentalmente describir los pasos que se tomaron en cuenta para la concepción de briquetas de residuos orgánicos caseros para su utilización en hornos, calefacción y/o calderas; mediante la combinación de diferentes porcentajes de Hojas de Papel, Cartón, Carbonilla de Arroz, Aserrín, Paja y Hojas de Árboles.

### **Ubicación del área de estudio**

Esta investigación se llevó a cabo mediante estudiantes de la Carrera de Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Pilar; en donde se llevó a cabo los diseños, montajes de las briquetas en la casa de la alumna Liz Paola Rodríguez, ubicada en los puntos de coordenadas:

Latitud: 26°52'20.28"S

Longitud: 58°18'44.51"O; y donde se realizaron las experiencias de combustión y análisis técnicos, dentro del Laboratorio de Ecología Básica y Aplicada de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, ubicada en los puntos de coordenadas:

Latitud: 26°52'55.31"S

Longitud: 58°17'18.37"O

### **Tipo de estudio**

La presente investigación es cuantitativa según su enfoque, con un nivel de profundidad según su tipología: exploratoria, descriptiva.

### Fases de la investigación

La presente investigación se constituye de tres etapas fundamentales para 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 y finalizando con la etapa de evaluación.

### Etapa de elaboración de las briquetas.

Se fabricaron diferentes tipos de briquetas, tomando en cuenta el tamaño (dimensiones) y el tipo de briqueta a elaborar, con diferentes proporciones seleccionadas de manera experimental pues no se cuenta con un manual que indique la cantidad de proporciones de sustratos para una elaboración óptima. Para la investigación se hicieron 6 (seis) briquetas de composición pura que se pueden observar en la Tabla N°1; y a la vez se realizaron 12 (doce) combinaciones de diferentes porcentajes de los diferentes componentes como se puede observar en la Tabla N°1.

**Tabla N°1.** Composición de las briquetas en estado concentrado.

BRIQUETAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE COMPOSICIÓN CONCENTRADA					
Material	Estructura	Porcentaje	Peso	Altura	Forma
Br. Papel	Solida	100%	600g	9cm	Cilíndrica
Br. Cartón	Solida	100%	530g	12cm	Cilíndrica
Br. Carbonilla	Solida	100%	600g	9cm	Cilíndrica
Br. Aserrín	Inestable	100%	300g	14cm	Cilíndrica
Br. Hojas	Inestable	100%	200g	10cm	Cilíndrica
Br. Paja	Inestable	100%	150g	10cm	Cilíndrica

**Tabla N°2.** Briquetas de residuos orgánicos de diferentes porcentajes de mezcla.

BRIQUETAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE DIFERENTES PORCENTAJES				
Briquetas con materiales	Composición	Estructura	Peso	Altura
Br1	Papel 50% Cartón 15% Carbonilla 0% Aserrín 10% Hojas 0% Paja 25%	Solida	400g	10cm
Br2	Papel 25% Cartón 0% Carbonilla 0% Aserrín 50% Hojas 0% Paja 25%	Solida	400g	14cm
Br3	Papel 40% Cartón 0% Carbonilla 0% Aserrín 60% Hojas 0% Paja 0%	Solida	400g	13cm
Br4	Papel 50% Cartón 15% Carbonilla 25% Aserrín 10% Hojas 0% Paja 0%	Solida	400g	10cm
Br5	Papel 30% Cartón 10% Carbonilla 10% Aserrín 25% Hojas 0% Paja 25%	Solida	400g	13cm
Br6	Papel 20% Cartón 0% Carbonilla 30% Aserrín 25% Hojas 0% Paja 25%	Solida	400g	13cm

Biofuel “propuesta alternativa ecológica con el fin de suplir la demanda energética; para calderas, calefacción y cocinas para zonas rurales, suburbanos y urbanos”

Br7	Papel 20% Cartón 0% Carbonilla 0% Aserrín 50% Hojas 0% Paja 30%	Inestable	400g	16cm
Br8	Papel 20% Cartón 0% Carbonilla 0% Aserrín 80% Hojas 0% Paja 0%	Intermedi a	400g	16cm
Br9	Papel 35% Cartón 0% Carbonilla 25% Aserrín 25% Hojas 0% Paja 15%	Inestable	400g	14cm
Br10	Papel 30% Cartón 0% Carbonilla 0% Aserrín 40% Hojas 0% Paja 30%	Solida	400g	16cm
Br11	Papel 40% Cartón 0% Carbonilla 0% Aserrín 0% Hojas 0% Paja 60%	Solida	400g	13cm
Br12	Papel 50% Cartón 0% Carbonilla 0% Aserrín 25% Hojas 0% Paja 25%	Solida	400g	10cm

Los residuos con los que se elaboraron las briquetas son los siguientes: Aserrín (Obtenido de carpintería privada), Papel (proporcionado por una de las fotocopiadoras ubicadas frente a la Facultad de Derecho de la Universidad Nacional de Pilar, realiza la función de

aglutinante), Paja (extraída del campo del Ing. Martín Ocampo), Carbonilla de Arroz (de la Manufactura de Pilar S.A.), Cartón (del Mini mercado Arcoíris), Hojas de Arboles varios (extraída de la plaza del Barrio Las Residentas).

***Se elaboraron briquetas de manera independiente, con diferentes proporciones de mezclas para su posterior evaluación. Los pasos para su fabricación fueron los siguientes.***

1. Recolección y acumulación de residuos: para fabricar las briquetas se recolectaron y acumularon los diferentes residuos forestales de empresas privadas para las cuales es una pérdida de espacio y tiempo el tratamiento de los mismos.
2. Trituración o picado de los residuos: un paso importante en la fabricación de las briquetas, este se realiza de acuerdo a los materiales de elaboración y a sus proporciones. Algunos pueden tener un mayor picado o menor en dependencia de la capacidad de amarre del material, lo que quiere decir que por ejemplo al elaborar una briqueta de aserrín este no posee la capacidad de amarre o pegado para formar una briqueta por lo cual se añade papel triturado como aglutinante en cierta proporción. Hay varias maneras de triturar o picar los residuos, con maquina especializada para triturar eléctrica con la cual no se contó para el estudio, con licuadora o realizándolo de manera manual.
3. Realizar las proporciones de residuos para la posterior mezcla: es fundamental tomar en cuenta el peso de cada sustrato, y la cantidad que se agregara a la mezcla, se realizó diferentes mezclas pretendiendo realizar una comparativa para determinar cuál porcentaje de residuo es óptimo para la elaboración de la briqueta.
4. Mezclar con agua o aglutinante: en un recipiente plástico para todas las briquetas se empleó 600ml de agua para realizar una mejor mezcla de los residuos y se utilizó cierto porcentaje (el cual se tratará posteriormente) de papel en algunas de las briquetas que sirvió como aglutinante para contribuir al amarre de los residuos. Esta mezcla se revolvió por 10 minutos para realizar un mezclado uniforme y una mejor adhesión entre los residuos.
5. Verter la mezcla en el molde: se vacía la mezcla homogénea en el recipiente móvil el cual le dará la forma circular con un orificio al centro lo cual permite la entrada de oxígeno a la briqueta para su combustión.
6. Realizar la compactación de la mezcla: se realiza un prensado de manera manual mediante la utilización de la palanca sobre el molde ejerciendo una fuerza de 3693kg

para extraer de manera eficiente el líquido de la briqueta y realizar una compactación sólida de la mezcla de los diferentes sustratos.

7. Secado de las briquetas: hay varios métodos de secado entre estos, con horno eléctrico, secador solar, o por secado natural, se optó por el secado natural exponiendo las briquetas a radiación solar directa para eliminar la humedad de las mismas y la briqueta tuviera una compactación correcta, el periodo de tiempo que se le dio a las briquetas con aire constante y radiación solar directa fue de 3 días.

### **Etapas de pre-evaluación de las briquetas**

Esta etapa se tomó en cuenta para los resultados finales, en esta se fabricaron briquetas de 400 gramos cada una para tener varias muestras y tomar en cuenta aspectos importantes para seleccionar las briquetas adecuadas y no hacer una evaluación en vano. Los dos aspectos importantes que se medirán son los siguientes:

#### **Prueba física**

Las briquetas tienen una forma circular con un orificio en medio que están establecidos por el molde, en esta prueba se quiere tratar que las briquetas al ser manipuladas durante su fabricación, transporte y secado conserven su estructura. Esto se calificó de la siguiente manera:

**Excelente:** cuando la briqueta a la hora de su manipulación la estructura es lo suficientemente estable y en su secado tiene que estar de manera dura.

**Regular:** cuando la briqueta a la hora de su manipulación la estructura no es tan estable y en su secado sea duro, pero se desmorone y rompa con mayor facilidad.

**Malo:** la estructura no fue estable, es decir a la hora de su manipulación la estructura tienda a volver a su estado original, y cuando este seco se desmorone y rompa fácilmente.

#### **Prueba de encendido**

El encendido de la briqueta depende de gran manera de la ventilación en la que se realice la prueba para efectos de prueba y no alterar se realizó en el laboratorio con poca ventilación. Esta prueba consiste en medir la facilidad que tienen las briquetas en encender para lo cual se utilizó 2ml de alcohol con 10g de madera igual para todas las briquetas y se calificó de la siguiente manera:

**Enciende:** cuando al quemarse la madera dentro de las briquetas quedan encendidas por un tiempo considerable hasta consumirse.

**No enciende:** cuando al quemarse la madera dentro de las briquetas no encienden o se encienden y se apagan sin quemarse por completo.

Para el proceso de evaluación se seleccionaron el tipo de briquetas que en su prueba física sea excelente y naturalmente su encendido fácil, se tomaron en cuenta las proporciones de los sustratos utilizados en las briquetas y la cantidad de papel que contienen si es que contienen.

#### **Etapas de evaluación de las briquetas.**

La etapa final de nuestra investigación se realizó en un cuarto cerrado para controlar variables que influyen de manera directa en el resultado de datos como lo es el viento. En esta etapa se evaluó los parámetros fundamentales planteados en nuestros objetivos como la eficiencia de las briquetas con diferentes tipos de sustratos forestales.

**Tiempo de ebullición:** calculando el tiempo desde que tarda en llegar al punto de ebullición del agua.

**Velocidad de combustión:** es la medida del consumo de combustible (leña o briquetas) que se requiere para lograr hervir el agua de un recipiente.

- Eficiencia térmica: es la transferencia de energía del combustible a la olla.
- Consumo específico del combustible: cantidad de combustible requerida para hacer hervir un litro de agua empezando con la estufa fría,
- Equivalente de combustible consumido: cantidad de combustible que se quemó.

### **3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **1. Antecedentes**

La idea de la fabricación de briquetas con residuos de forestales fue iniciada en 1957 en Soria, España con el carácter de ensayo. Se han realizado ensayos sobre combustibles sólidos como alternativas amigables con el medio ambiente, como el elaborado por el Centro de Desarrollo e Investigación en Termo fluidos (CEDIT), Lima Perú que demuestra la viabilidad de fabricación de briquetas y evalúa el desempeño de diferentes materiales biomédicos de los cuales la mejor combinación fue de Aserrín con papel.<sup>1</sup> Se sabe que en otros países latinoamericanos existen empresas que fabrican briquetas de manera industrial, en su mayoría usando residuos de sus propios aserraderos o fábricas de muebles y moldes, como lo son Briquetas Corinay en el Perú o LIPPEL en Brasil. El Grupo de Investigación en Energías Renovables (GIDER) de la facultad de Ingeniería en la Universidad Nacional del Nordeste, Argentina, elaboró briquetas a partir de aserrín de

pino blanco, en el cual, considerando que la materia prima de este producto logrado tiene un contenido de humedad entre 8 a 12 %, obtuvieron una eficiencia energética de 4672,45 Kcal/kg o 19562.6 KJ/Kg como poder calorífico superior. 2 El briqueta miento de biomasa no es una idea recién concebida; sin embargo, no se logró encontrar registros de trabajos monográficos o de otra índole respecto al tema.

## **2. Briquetas energéticas**

La briqueta es un biocombustible sólido que se obtiene mediante la compactación o densificación de residuos (de origen lignocelulósico u otros materiales). Se producen bajo la aplicación de grandes presiones y temperaturas elevadas que provocan la auto aglomeración de sus partículas, o mediante bajas y medianas presiones con ayuda de una sustancia aglomerante para lograr su compactación. Frecuentemente son utilizadas en el sector doméstico e industrial para la generación de calor o producción de energía, ya sea en estufas, chimeneas, cocinas, hornos, calderas como combustibles limpios, masificadores, entre otros.

Es un producto 100 % ecológico y renovable, catalogado como bioenergía sólida, usualmente se presenta en forma cilíndrica (diámetros mayores a 30 mm) o de bloques, es un sustituto del carbón y la leña; tiene alta densidad y es comercializado en bolsas de 5 a 20 kg. El término briqueta, puede ser a veces confuso, por la variedad de materiales usados y formas en que son compactadas, ya que pueden o no referirse a biocombustibles. La materia prima utilizada proviene comúnmente de residuos de industrias forestales, agrícolas, ganaderos, virutas de acero, entre otros.

Los motivos por los cuales han sido desarrolladas son: para revalorizar un conjunto de residuos sólidos orgánicos que producen calor en su combustión, para aumentar la densidad de ciertos biocombustibles que eran muy caros de transportar debido a los bajos valores de los mismos, para sustituir combustibles sólidos fósiles y para eliminar residuos sólidos de tipos muy variables. Para satisfacer las condiciones de fabricación de briquetas, la materia prima debe estar de acuerdo con porcentajes de humedad y tamaño de partículas (granulometría) aceptables. La fabricación de briquetas es una forma bastante eficiente para concentrar la energía disponible de la biomasa. El mayor enemigo que se les presenta a las técnicas de densificación es su aparente sencillez.

## **3. Tipos de procesos para fabricación de briquetas**

*A continuación, se describen los tipos de procesos para la fabricación de briquetas.*

### **3.1 Artesanales**

En este tipo no intervienen equipos sofisticados, ya que no se necesita producir gran cantidad, es decir que, con medios primarios (caseros) se puede pensar en un molde de la biomasa mezclada con algún tipo de aglutinante y secarla posteriormente para su utilización. En este proceso lo que importa es conformar las briquetas y obtenerlas de una forma no continua, práctica y sencilla, sin ser estricto y preciso en parámetros como proporción de mezcla entre materia prima y aglutinante, presión de compactación, tiempo y forma de secado. La presión de compactación es baja, hasta 5 MPa en promedio, debido al uso de altas cantidades de aglutinante que ayuda a la cohesión entre partículas del material. Se utilizan aglutinantes como estiércol de animales, papel, aserrín, almidones, arcillas, y otros. En las siguientes figuras se aprecian los instrumentos utilizados para la fabricación de briquetas de forma artesanal.

### **3.2 Semindustriales**

En este tipo de proceso, las presiones se encuentran en el rango de 5 a 100 MPa. El proceso de fabricación tiende a ser continuo, con medianas producciones de briquetas. Las presiones en el campo semindustrial son mayores que en el artesanal, debido a esto, en algunos casos la materia prima alcanza un grado de autoaglomeración, permitiendo el uso en menores o nulas proporciones de aglutinante para la mezcla, lo que ayuda a reducir costos de producción. Debido a ello, se hace necesario secar la materia prima previo a la braquiación. Un aspecto muy importante que se debe tener en cuenta es que la humedad del material debe estar en un rango del 15 al 20 %. Si la humedad es mayor, como las presiones internas al compactar son grandes, el incremento de la humedad causa mayor cantidad de vapor de agua producido por la temperatura que se genera durante la compresión, por lo que la briketa se resquebraja superficialmente al enfriarse, o puede producir una explosión que lanza la briketa como proyectil. En el caso de un brusco incremento de humedad en el material de entrada, la explosión de vapor puede incluso dañar la prensa. Usualmente se tiene entre una a dos fases de compactado.

### **3.3 Industriales**

Con respecto a los procesos industriales, se disponen de máquinas de altas presiones de compactado, en el orden de más de 100 MPa y grandes niveles de producción continua. No es necesario utilizar aglutinante, pero es requisito fundamental obtener materia prima lo más seca posible, normalmente con una humedad del 5 al 15 % en base húmeda,

considerándose como óptima alrededor del 7 al 12 % (conforme a la norma DIN 51731) y tamaño de las partículas menor a 15 mm. A estas presiones la mezcla o materia prima se autoaglomera por el aumento de la temperatura durante el compactado, ya que se trata de material lignocelulósico que aporta lignina propia como aglutinante. Por ejemplo, la madera al ser calentada sobre el rango de su temperatura de plasticidad, que es aproximadamente 165 °C, pierde su elasticidad permitiendo comprimirla de manera más fácil. Generalmente se tienen varias fases de compactado. En algunas industrias, o plantas de briquetación, se utilizan secadoras, trituradoras, tamizadoras, filtros, recolectores de polvos briquetadoras con resistencias eléctricas, esto ayuda a la autoaglomeración. Si a esto se le suma esto las presiones elevadas de compactación, se obtienen briquetas de buena calidad, con excelentes propiedades mecánicas y de friabilidad que son importantes a la hora de transportarlas y almacenarlas.

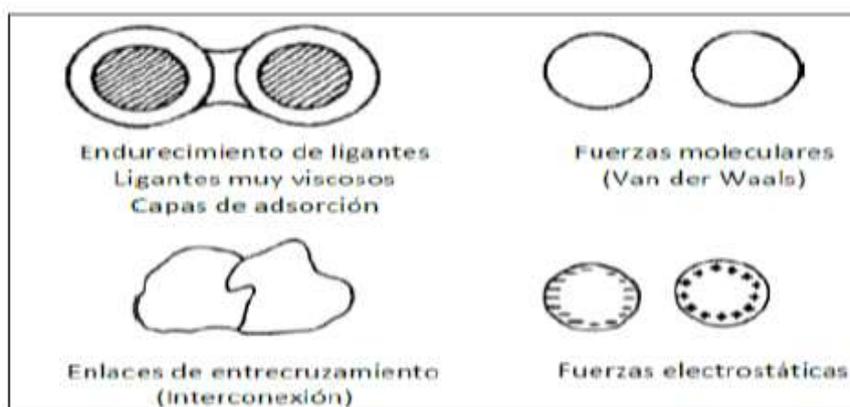
#### **4. Mecanismo de enlace para aglomerados**

Los mecanismos enlazantes para el aumento del tamaño por aglomeración fueron definidos y clasificados por Rumpf (1962) y posteriormente fueron recogidos por Pietsch (1991). Durante una operación particular de aumento de tamaño se puede aplicar más de un mecanismo. Se dividen en cinco grupos y varios subgrupos.

Los puentes sólidos se forman entre partículas por medio de la intetización de minerales, la cristalización de sustancias disueltas durante el secado, como sucede en la granulación de fertilizantes y endurecimiento de los agentes de enlace tales como las gomas y resinas. Entre los subgrupos están: puentes minerales, puentes sinterizados, reacción química, fusión parcial, endurecimiento de ligantes, entre otros. El enlace de líquidos móviles genera la cohesión por medio de fuerzas interfaciales y la succión capilar. Por contraste, los puentes de líquidos inmóviles formados con materiales altamente viscosos, como el asfalto o el alquitrán, generan fallas fisurando el enlace más débil. Entonces, las fuerzas de adhesión o cohesión se aprovechan plenamente y la capacidad de aglutinaciones mucho mayor. Entre los subgrupos están: puentes líquidos y fuerzas capilares en la superficie de agregados rellenos con líquido. Las fuerzas intermoleculares y electrostáticas unen partículas muy finas sin la presencia de puentes materiales, es decir actúan fuerzas de atracción entre partículas sólidas. Este tipo de formación de enlaces es al que se debe la tendencia de las partículas menores de una micra de diámetro a formar espontáneamente conglomerados durante un proceso de agitación. No obstante, cuando

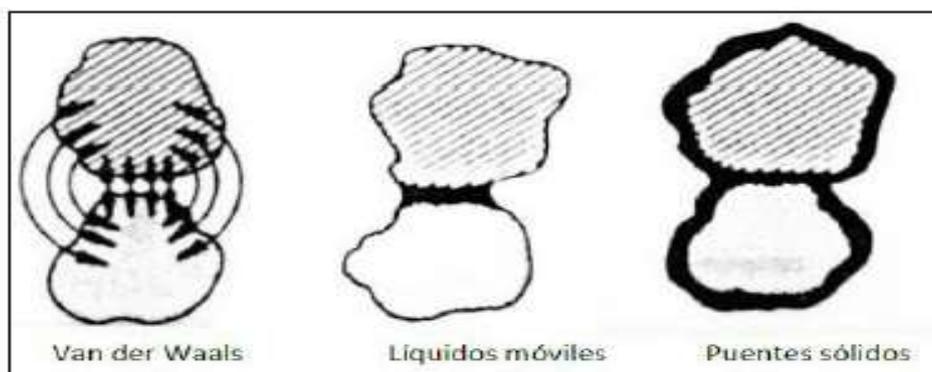
se trata de partículas de mayor tamaño, estas fuerzas de corto alcance son suficientes para contrarrestar su peso y no se produce cohesión. Entre los subgrupos están: fuerzas moleculares (Van der Waals, químicas de enlace), fuerzas electrostáticas, fuerzas magnéticas. La interconexión mecánica de las partículas ocurre durante la agitación o compresión de partículas fibrosas; pero es probablemente solo un contribuyente menos de la fuerza de conglomeración en la mayoría de los casos.

#### 4.1 Mecanismos enlazantes que actúan como dos partículas



Fuente: *Briquetas*. <https://www.google.es/search?q=briquetas>.

#### 4.2 Posibles mecanismos enlazantes que actúan sobre lasbriquetas



Fuente: *Briquetas*. <https://www.google.es/search?q=briquetas>.

### 5. Aglutinante

Los aglutinantes (ligantes, aglomerantes) son sustancias capaces de generar fuerzas para unir fragmentos, partículas de una o varias sustancias o materiales y dar cohesión al conjunto por métodos físicos, químicos o térmicos. Tienen importancia particularmente en la industria aeronáutica, en la construcción, en lugares donde se necesite fiabilidad de las uniones, en la fabricación de briquetas de material orgánico (biomasa) como cascarilla de arroz, aserrín, cáscara de café, entre otros; es muy importante su empleo, en pinturas

y en carpintería. El aglomerante para la elaboración de briquetas orgánicas debe cumplirlos siguientes aspectos:

- Fácil preparación
- Fácil aplicación
- Fácil obtención
- Costo relativamente bajo
- No ser contaminante durante su combustión
- Al entrar en contacto con la piel no debe ser nocivo
- Facilidad de mezclado con la materia prima
- Debe poseer buenas propiedades de adhesión
- Presentar resistencia mecánica considerable

## **6. Tipos y propiedades de los aglutinantes**

Los aglutinantes se elaboran a partir de resinas fenólicas, de los almidones provenientes de los vegetales, en algunos casos modificados, y de las arcillas. Los aglomerantes como las resinas presentan mejores propiedades de flexibilidad y resistencia en las operaciones de corte o desbaste, que los aglomerantes vitrificados; los aglomerantes que provienen de vegetales presentan mejores propiedades de cohesión para compactar biomasa. Los aglutinantes se clasifican en combustibles y no combustibles. Son combustibles: resinas naturales y sintéticas, alquitrán, estiércol animal, manteca, aguas servidas, residuales o barro, gelatina, papel, restos y residuos de pescado, algas, almidones, entre otros. Entre los no combustibles están: limo, arcilla, barro, cemento, cal, entre otros.

También se clasifican los aglutinantes en orgánicos e inorgánicos. Los orgánicos son: albuminatos, alcoholes, almidones, alquitranes, azúcares, breas, caseína, cola, dextrina, gelatinas, humatos, ligninas-lignosulfonatos, melazas, papel, aserrín, resinas, turba; y entre los inorgánicos: alumbre, arcillas, bentonita, borato de sodio, cal y cal hidratada, cemento, cloruro de magnesio, escayola, silicato de sodio, sílice y yeso. De los aglutinantes citados, no todos son adecuados para la fabricación de briquetas combustibles por diversos factores. Generalmente entre los más comunes para este fin están:

- Almidones de yuca, maíz, arroz
- Resinas (cola blanca)
- Melaza

- Parafina
- Arcillas
- Alquitrán

En la briqueta, la misión del aglutinante es mantener unidas las partículas Durante su secado, almacenamiento y posterior uso sin presentar problemas de desmenuzamiento.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto a la evaluación de parámetros físicos y químicos de las briquetas elaboradas de diferentes residuos orgánicos, radica su importancia en los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas para considerar a las briquetas como alternativa para reducir el uso leña como combustible, y aprovechar diferentes residuos que no tienen un tratamiento adecuado en nuestra ciudad.

En la etapa de pre-evaluación (Tabla 3) se presentan todos los tipos de briquetas que se fabricaron para determinar cuál de ellas pasaba a la etapa de evaluación. Para ello las briquetas debían tener en su prueba física una calificación de excelente y pudiesen encender con facilidad. Esta etapa de evaluación se realizó en condiciones controladas utilizando una cama de Papel y 2 ml de Alcohol como co-ayudante para el encendido inicial de las briquetas.

Se presenta el cuadro de resultados para lo cual el papel actuó como aglutinante en la mayoría de casos.

**Tabla 3.** Resultados de las Pruebas de Pre-evaluación.

N°	Composición	Prueba Física (Excelente, Regular, Malo)	Prueba de Encendido (Enciende no Enciende)
1	Papel 50%, Cartón 15%, Aserrín 10%, Paja 25%	Excelente	No Enciende
2	Papel 25%, Aserrín 50%, Paja 25%	Regular	Enciende
3	Papel 40%, Aserrín 60%	Excelente	Enciende

Biofuel “propuesta alternativa ecológica con el fin de suplir la demanda energética; para calderas, calefacción y cocinas para zonas rurales, suburbanos y urbanos”

4	Papel 50%, Cartón15%, Carbonilla 25%, Aserrín10%	Excelente	No Enciende
5	Papel 30%, Cartón10%, Carbonilla 10%, Aserrín 25%, Paja 25%	Regular	No Enciende
6	Papel 20%, Carbonilla 30%, Aserrín 25%, Paja 25%	Regular	No Enciende
7	Papel 20%, Aserrín 50%, Paja 30%	Regular	Enciende
8	Papel 20%, Aserrín80%	Excelente	Enciende
9	Papel 35%, Carbonilla 25%, Aserrín 25%, Paja15%	Regular	No Enciende
10	Papel 30%, Aserrín40%, Paja 30%	Regular	Enciende
11	Papel 40%, Paja 60%	Excelente	Enciende
12	Papel 50%, Aserrín25%, Paja 25%	Excelente	Enciende
13	Papel100%	Excelente	No Enciende
14	Cartón100%	Excelente	No Enciende
15	Carbonilla100%	Regular	No Enciende
16	Aserrín100%	Malo	Enciende
17	Paja100%	Malo	Enciende
18	Hojas de Árboles100%	Malo	Enciende

Las tipas de briquetas que pasaron la etapa de pre-evaluación según se observó y determino fueron debido a que, estas al ser manipuladas durante su fabricación, transporte y secado conservaron su estructura fuerte, no se partieron ni sufrieron fisuras. Además, en la prueba de encendido que consistió en medir la facilidad que tienen las briquetas en encender para lo cual se utilizó una cama de Papel y 2 ml de Alcohol como co-ayudante igual para todas las briquetas y se obtuvieron excelentes resultados ya que cuando al quemarse la cama las briquetas estas quedaban encendidas por un tiempo considerable hasta consumirse.

***Los tipos de briquetas que pasaron la etapa de pre-evaluación fueron las siguientes:***

Papel 25%, Aserrín 50%, Paja 25%

Papel 40%, Aserrín 60%

Papel 20%, Aserrín 50%, Paja 30%

Papel 20%, Aserrín 80%

Papel 30%, Aserrín 40%, Paja 30%

Papel 40%, Paja 60%

Papel 50%, Aserrín 25%, Paja 25%

La etapa de evaluación de las briquetas se realizó bajo condiciones controladas cada una de las pruebas para tener uniformidad en los resultados, una vez encendida la briqueta se procuró no darle aireación, se esperó hasta que volviera a encender por sí sola, observando en algunas que se apagaron completamente en un lapso de tiempo determinado, estas pruebas las realizamos en una parrilla casera debido a que el calor de las briquetas se traslada directamente a la olla generando mayor aumento de temperatura y menor desperdicio de combustible, se controlaba cada una de las pruebas asegurando uniformidad y evitando variaciones externas que influyeran de manera directa. Al realizar las pruebas se ubicó el centro de la parrilla una briqueta la con la cual se pretende alcanzar el punto de ebullición de un litro de agua en un tiempo determinado.

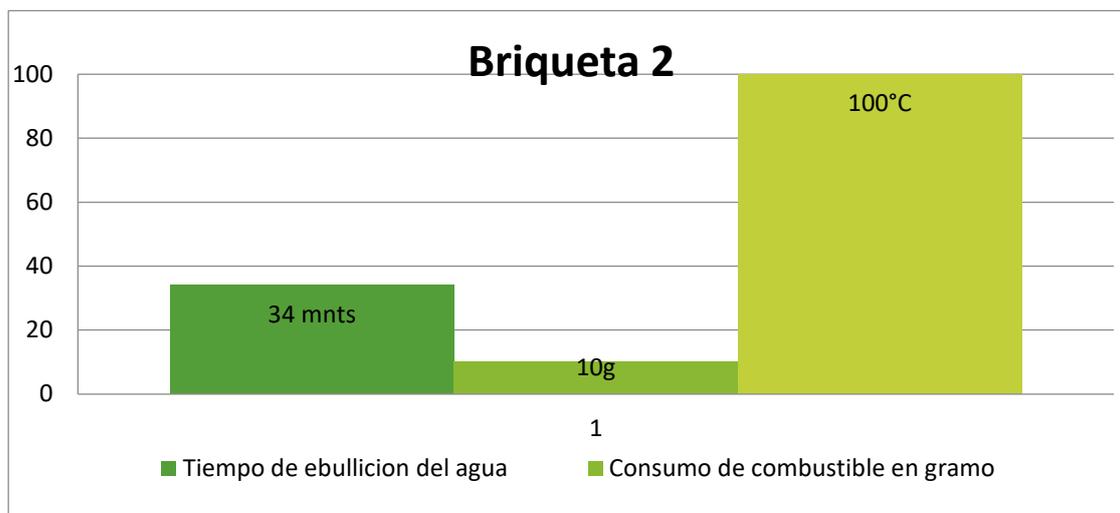
Cabe mencionar que las pruebas se realizaron con leña de Cítrico (400g) y así obtener un patrón de comparación necesario a la hora de evaluar las briquetas ya que a este combustible es el que se pretende reducir su uso. Las pruebas se realizaron similarmente a la de las briquetas para tener uniformidad en los datos y no tener alteración en los resultados.

En la metodología se mencionan diferentes variables a evaluar con el tiempo de ebullición del agua que son las siguientes:

Tiempo de ebullición: calculando el tiempo desde que tarda en llegar al punto de ebullición del agua.

**Eficiencia térmica: es la transferencia de energía del combustible a la olla.**

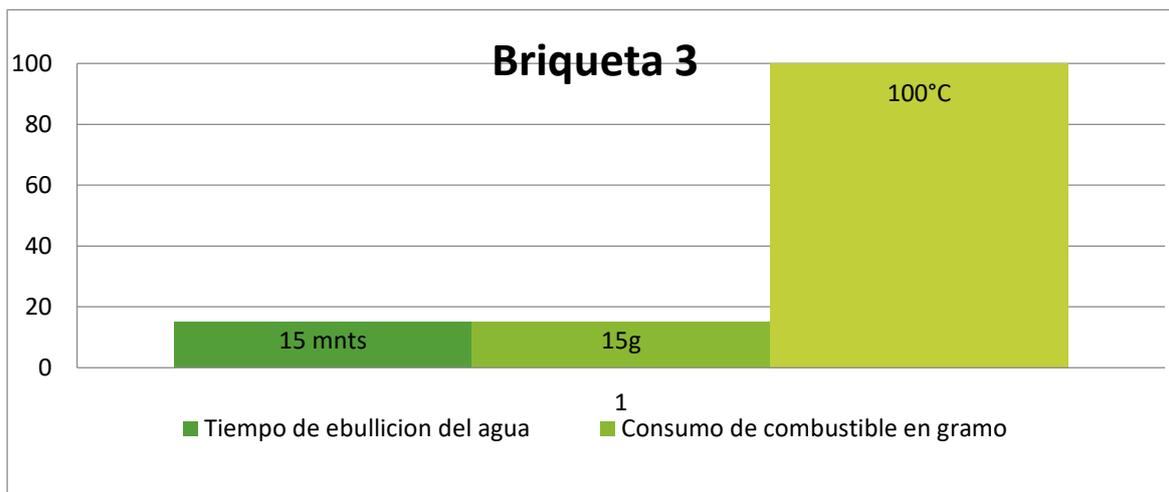
Gráfico 1. Resultados de la Combustión de la Briqueta 2.



Equivalente de combustible consumido: cantidad de combustible que se quemó.

En un principio la Briqueta 2, de la cual está compuesta de Papel 25%, Aserrín 50%, Paja 25%, tuvo un pequeño retraso para comenzar la combustión; una vez comenzado el tiempo que tardó en lograr alcanzar el punto de ebullición fue uno de los más altos, ya que si bien logró temperaturas de 470°C la temperatura no permanecía constante, en cambio al consumo de combustible fue uno de los que en promedio general se encontraba en un rango bueno, generando nada más que 10g de ceniza, equivaliendo el 2,5% de su peso original que fueron de 400g.

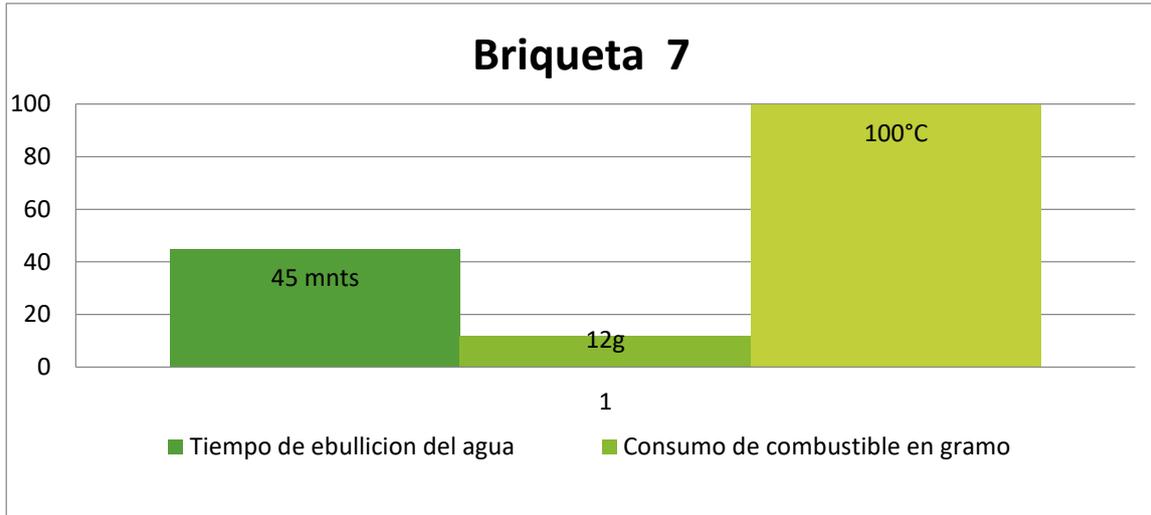
Gráfico 2. Resultados de la Combustión de la Briqueta 3.



Para la Briqueta 3, de la cual está compuesta de Papel 40%, Aserrín 60%, tuvo un tiempo de encendido bastante bueno; una vez comenzado el tiempo que tardó en lograr alcanzar

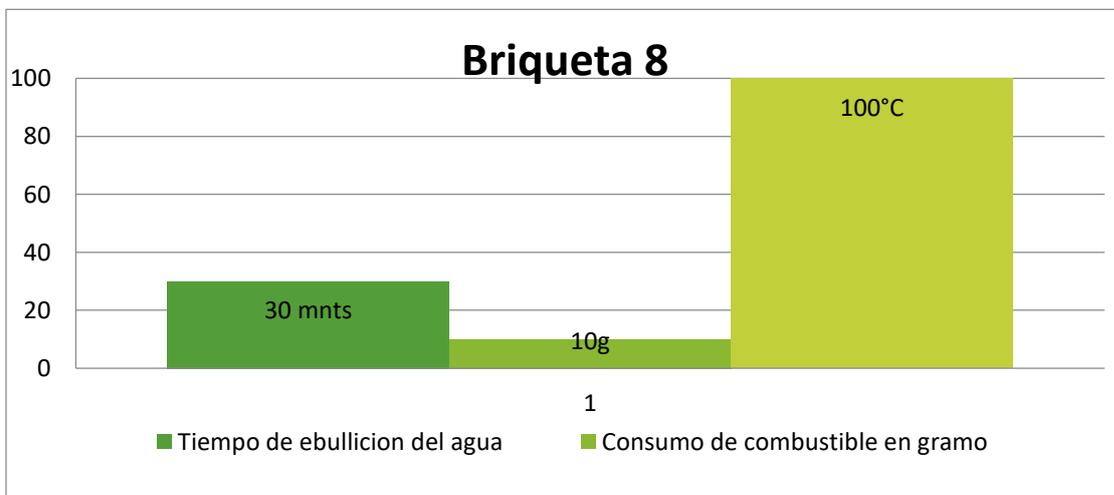
el punto de ebullición fue uno de los intermedios, logrando hacer hervir la olla de agua a los 15 minutos, en cambio al consumo de combustible fue uno de los que en promedio general se encontraba en un rango bueno, generando nada más que 15g de ceniza, equivaliendo el 3,7% de su peso original que fueron de 400g.

**Gráfico 3.** Resultados de la Combustión de la Briqueta 7.



Para la Briqueta 7, de la cual está compuesta de Papel 20%, Aserrín 50%, Paja 30%, tuvo un tiempo de encendido bastante regular; una vez comenzado el tiempo que tardo en lograr alcanzar el punto de ebullición fue uno de los malos, logrando hacer hervir la olla de agua a los 45 minutos, en cambio al consumo de combustible fue uno de los que en promedio general se encontraba en un rango bueno, generando nada más que 12g de ceniza, equivaliendo el 3% de su peso original que fueron de 400g.

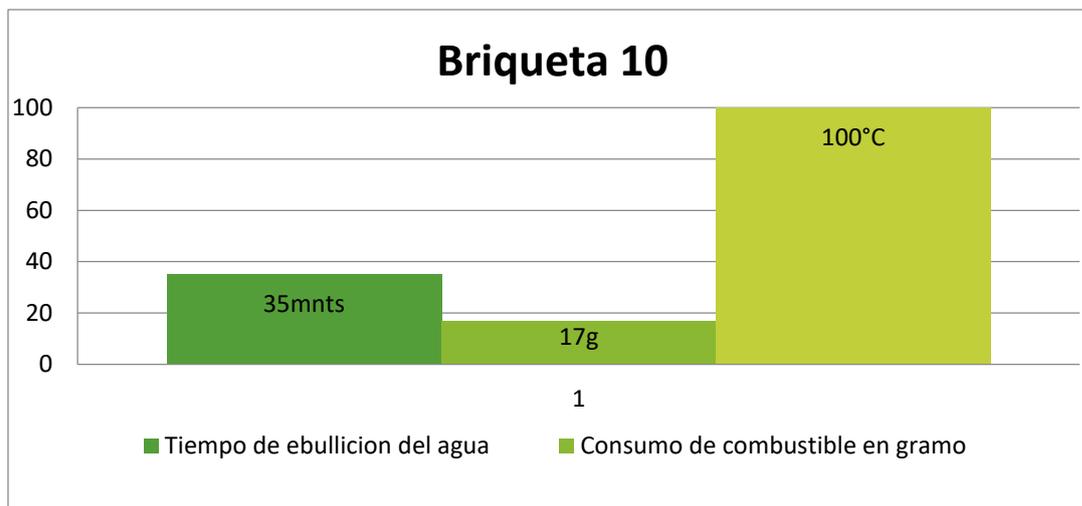
**Gráfico 4.** Resultados de la Combustión de la Briqueta 8.



Para la Briqueta 8, de la cual está compuesta de Papel 20%, Aserrín 80%, tuvo un tiempo de encendido bastante Bueno, una vez comenzado el tiempo que tardo en lograr alcanzar

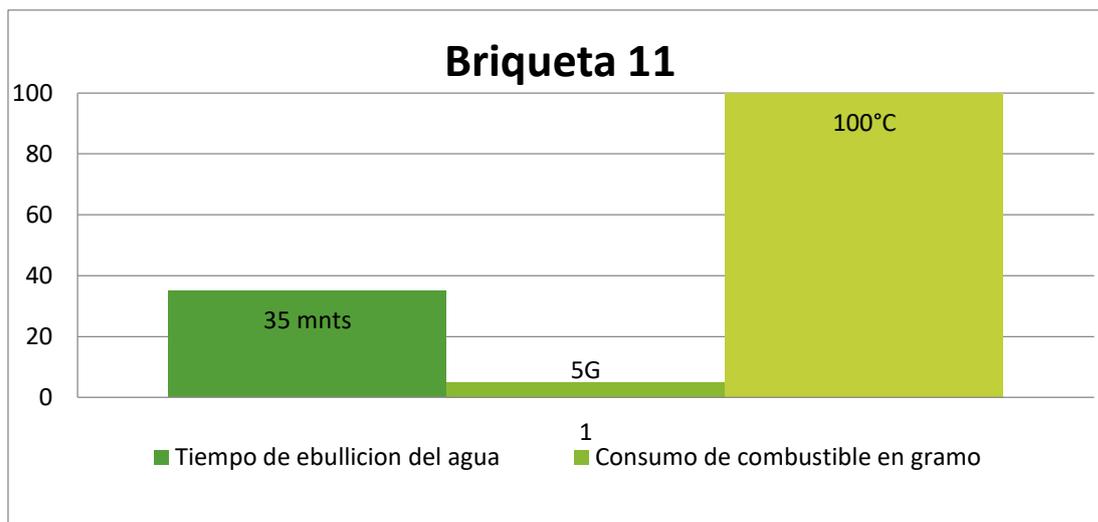
el punto de ebullición fue uno de los regulares, logrando hacer hervir la olla de agua a los 30 minutos, en cambio al consumo de combustible fue uno de los que en promedio general se encontraba en un rango bueno, generando nada más que 10g de ceniza, equivaliendo el 2,5% de su peso original que fueron de 400g.

**Gráfico 5.** Resultados de la Combustión de la Briqueta 10.



Para la Briqueta 10, de la cual está compuesta de Papel 30%, Aserrín 40%, Paja 30%, tuvo un tiempo de encendido bastante Bueno, una vez comenzado el tiempo que tardó en lograr alcanzar el punto de ebullición fue uno de los regulares, logrando hacer hervir la olla de agua a los 35 minutos, en cambio al consumo de combustible fue uno de los que en promedio general se encontraba en un rango aceptable, generando nada más que 17g de ceniza, equivaliendo el 4,5% de su peso original que fueron de 400g.

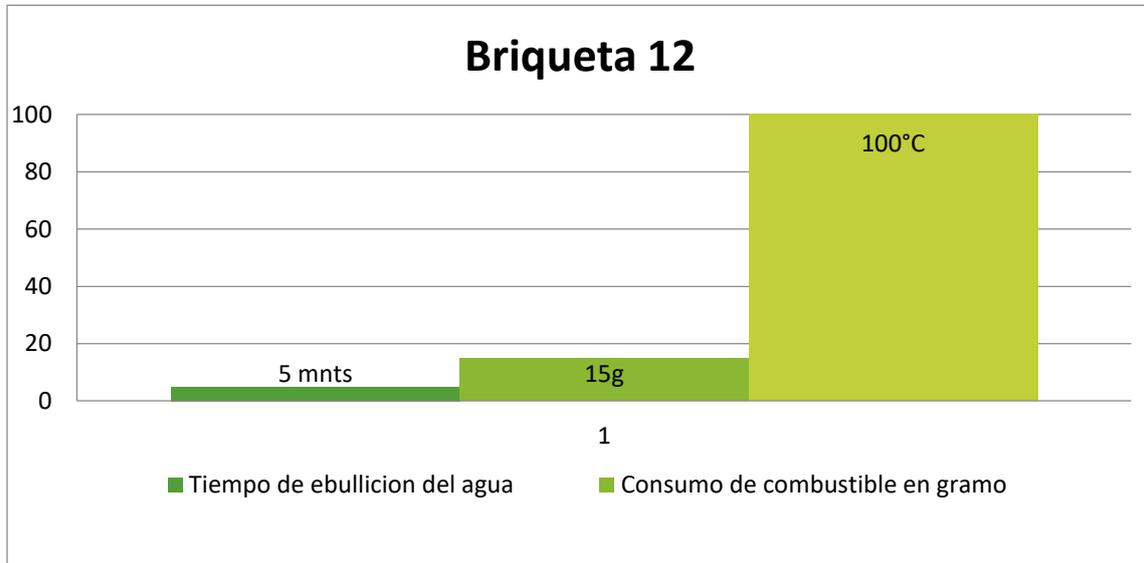
**Gráfico 6.** Resultados de la Combustión de la Briqueta 11.



Para la Briqueta 11, de la cual está compuesta de Papel 40%, Paja 60%, tuvo un tiempo de encendido bastante Bueno, una vez comenzado el tiempo que tardó en lograr alcanzar

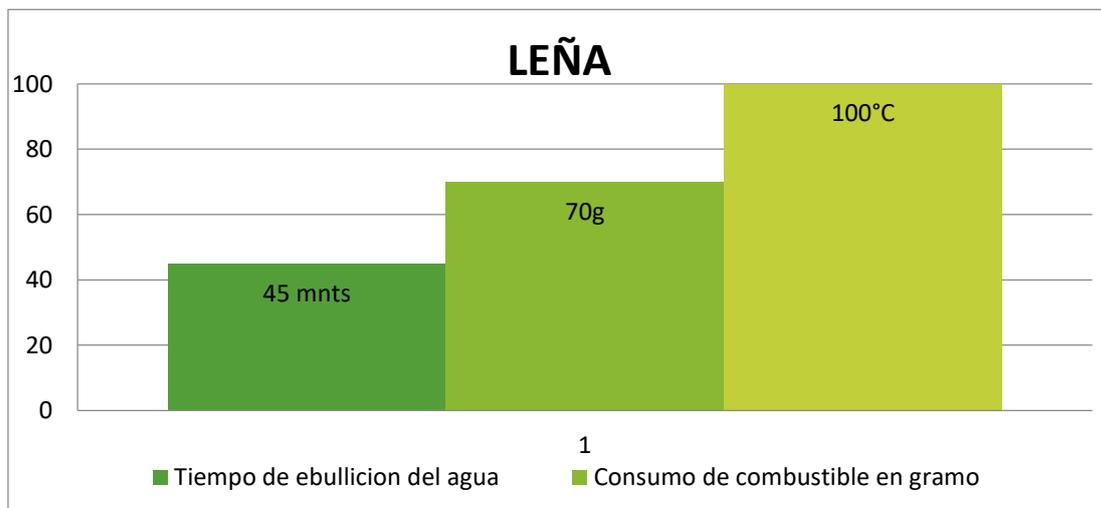
el punto de ebullición fue uno de los regulares, logrando hacer hervir la olla de agua a los 35 minutos, en cambio al consumo de combustible fue uno de los mejores, generando nada más que 5 g de ceniza, equivaliendo el 1,5% de su peso original que fueron de 400g.

**Gráfico 7.** Resultados de la Combustión de la Briqueta 12.



Para la Briqueta 12, de la cual está compuesta de Papel 50%, Aserrín 25%, Paja 25%, tuvo un tiempo de encendido bastante Bueno, una vez comenzado el tiempo que tardo en lograr alcanzar el punto de ebullición fue el mejor, logrando hacer hervir la olla de agua a los 5 minutos, en cambio al consumo de combustible fue uno de los mejores, generando nada más que 15 g de ceniza, equivaliendo el 3,7% de su peso original que fueron de 400g.

**Gráfico 8.** Resultados de la Combustión de la Leña



Para la Leña, de la cual está compuesta de 100% de leña de cítrico, tuvo un tiempo de encendido bastante lento, una vez comenzado el tiempo que tardo en lograr alcanzar el punto de ebullición fue uno de los más lentos, logrando hacer hervir la olla de agua a los

45 minutos, en cambio al consumo de combustible fue uno de los peores, generando 70 g de ceniza, equivaliendo el 17,5% de su peso original que fueron de 400g.

## 5. CONSIDERACIONES FINALES

La elaboración de las briquetas fue exitosa logrando una excelente compactación reduciendo los niveles de humedad y aumentando la densidad del producto. En la fabricación de briquetas el corte y la descomposición parcial son determinantes para una buena estructura.

La etapa de pre-evaluación fue fundamental para determinar cuál briqueta fue conveniente puesto que en algunos casos la briqueta se quebraba por su mala estructura o no quemaba lo que hubiese quitado tiempo en vano a la hora de evaluar.

La leña es un generador de energía que emite cantidades de residuos por la no combustión completa del mismo por lo cual es conveniente buscar alternativas para su sustitución como las briquetas.

La briqueta 12 de Papel 50%, Aserrín 25%, Paja 25% es la mejor opción según la etapa de evaluación siendo esta la que emite menores cantidades de residuos (cenizas) de tan solo 15g, obteniendo una eficiencia térmica de bastante elevada puesto que llega a alcanzar el punto de ebullición del agua en poco tiempo que fue encendido.

Si es posible sustituir la leña como combustible ya que las briquetas como la briqueta 3, 8, 11y 12 cuentan con mayor eficiencia térmica en cuanto a la cantidad de tiempo en que tarda en alcanzar el punto de ebullición del agua y producen pocas cantidades de residuos en cenizas, aprovechando bastante bien el combustible sólido.

En cuanto al tiempo de encendido cada señalar que todas las briquetas de 400gramos no se consumían en un tiempo menor a 1hr:40mnts (una hora con cuarenta minutos); y destacando las briquetas 3 y 12 con un tiempo de encendido de 2horas, comparando con la leña que a los 57minutos se consumió parcialmente y se apagó.

Este estudio ayudó a tener una perspectiva amplia de lo que puede ser el uso de residuos agrícolas para la fabricación de briquetas para zonas rurales, suburbanas y urbanas; y más adelante mediante tecnologías avanzadas se puedan desarrollar de una manera eficiente. Así mismo puede ser un pilar para futuras proyecciones que se realicen a pequeña y gran escala, en las diferentes industrias de nuestra ciudad.

Por lo tanto, se recomienda: Realizar más evaluaciones de briquetas bajo condiciones similares y diferentes de viento, para contar con una base de datos para estudios

posteriores. Diseñar una estufa a medida y según las características de encendido de las briquetas, para evaluar y comparar con los resultados ya existentes. Recolectar los residuos agrícolas después que estos hayan estado expuestos al aire libre por largo tiempo para que la descomposición parcial esté avanzada y así acortar los tiempos de descomposición y secado durante la fabricación de las briquetas. Poder contar con un análisis de los gases que se emiten mediante equipos especiales de calidad de aire.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2006). *“El Proyecto de Investigación”* 6ª Edición. Editorial: Episteme. Venezuela
- Barrera, J. (2008). *Briquetas, la mejor forma de reutilizar los residuos forestales.* Madrid
- Behar Rivero, D. (2008). *Metodología de la Investigación.* Editorial Shalom. 94p. disponible en:  
<http://rdigital.unicv.edu.cv/bitstream/123456789/106/3/Libro%20metodologia%20investigacion%20este.pdf>.
- Censo Económico Nacional (2011). DGEEC.PY
- Comisión Forestal para América Latina y el Caribe FAO. (1999). *Situación Forestal de América Latina y el Caribe.* Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/meeting/x6004s.htm>.
- Encuesta de Innovación Empresarial de Paraguay 2016 (EIEP)
- Gamboa Graus, M. (2017). *Estadística aplicada a la investigación científica.* J.C. Arboleda (Ed.). *Apropiación, generación y uso solidario del conocimiento* (pp. 59-76). Las Tunas, Cuba: Editorial Redipe-Edacun. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/ESTAD%C3%8DSTICA-APLICADA-A-LA-INVESTIGACI%C3%93N-CIENT%C3%8DFICA-Graus-Enrique/a3f68b264f465882aefd593b4f65cb5bacc61e58>
- Hernández, Dr. Fernández, Dra. Baptista. (1998). *“Metodología de la Investigación”* Cuarta Edición McGraw Hill- México
- Kollman, F. (2007). *Tecnología de la madera y sus aplicaciones.* Madrid
- Méndez, Álvarez, C, (1994) *Metodología. Colombia,* McGRAW HILL Interamericana, S.A.

- Morini, S. (2011). *Perdidas y Desperdicios de Recursos Forestales en el Mundo*.  
Düsseldorf, Alemania
- Ortiz, L. (2003). *La Biomasa como fuente de energía*. Madrid.
- Rivas, A. (2001). *Estudio de la valoración energética de los combustibles forestales*.  
Santiago de Compostela. Mexico
- Tamayo y Tamayo, M. (1997). *El proceso de la Investigación Científica. Incluye glosario  
y manual de evaluación de proyectos*. Editorial LIMUSA S.A. México, 3ra. Edición
- Tejedor, S. (2010). *La web 2.0. Herramienta de marketing y posicionamiento de los  
cibermedios iberoamericanos*. DOI: [doi.org/10.7764/cdi.27.19](https://doi.org/10.7764/cdi.27.19)