



**UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ”  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO  
QUÍMICO**

**Título:** Fabricación de briquetas de carbón vegetal utilizando como aglutinantes residuos de la industria azucarera.

**Autora:**

Mercedes de la Caridad Mayón Otero.

**Tutores:**

MSc. Elisa María Chou Rodríguez

Dr.C. Fernando Efrén Ramos Miranda

**Cienfuegos, 2017**

*“...Yo no soy pesimista. Soy de los que creen que la Ciencia posee una gran belleza... Nuestra misión es hallar el medio de exteriorizar este sentimiento; no debemos dejar que se crea que todo el progreso científico se reduce a maquinismos, máquinas, engranajes... podemos también reconocer que el sueño del porvenir exige la síntesis de las culturas nacionales y la subordinación de las divergencias, que son principalmente de naturaleza política, a un objeto y fin universal como es el de la cultura y la civilización”.*

*Marie Curie.*



***Pensamiento***



*A Dios, porque me dio la vida y todo lo que esta encierra.*

*A mis padres Nery y Antonio, quienes hicieron de mí la persona que soy.*

*A mi hermana Mabelys y a mis abuelos Milagros y José, que han estado a mi lado en todo momento.*

*A mi esposo Osley, que ha sido un apoyo incondicional en mis estudios.*

*A Rafael A. Goytisoló Espinosa, que más que un gran profesor, es un amigo.*

*A mis tutores Elisa y Fernando, quienes con su dedicación han hecho posible este trabajo.*

***Dedicatoria***



## **Resumen**

El presente trabajo tuvo como objetivo principal la fabricación de briquetas a partir de la carbonilla restante del beneficio del carbón vegetal, con el fin de evaluar las propiedades fisicoquímicas de las mismas y así identificar el mejor aglutinante derivado de la industria azucarera; para ello se valora la influencia de los diferentes aditivos (bagacillo, cachaza y miel final) sobre las propiedades de las briquetas conformadas. Las propiedades evaluadas son: humedad eliminada, densidad, resistencia tanto al impacto como a la compresión, tiempo de ignición, tiempo de combustión, porcentaje de humeo, olor, temperatura de la llama y de la superficie, generación de cenizas y valor calorífico. El primer paso para la elaboración de las briquetas, fue encontrar la formulación ideal entre biocombustible y aglutinante, para ello se tomaron como referencia las distintas composiciones tratadas en la bibliografía. Como resultado se obtuvo que las briquetas elaboradas con bagacillo y cachaza no son resistentes a la caída ni a la compresión, por lo que son desechadas para el resto de las pruebas; sin embargo las conformadas con miel final ofrecen muy buenos resultados en todas las composiciones propuestas, siendo las elaboradas con 65 % de carbonilla triturada, 15 % de miel final y 20 % de agua las que brindan los mejores valores.

## **Abstract**

The main objective of the present work was the production of briquettes Recuperado de: the remaining charcoal, in order to evaluate the physicochemical properties of the charcoal and to identify the best binder residue in the sugar industry; for this purpose, the influence of the different additives (bagasse, filter cake and molasses) on the properties of the shaped briquettes was evaluated. The properties evaluated are: moisture removed, density, resistance to impact and compression, ignition time, combustion time, percentage of smoke, smell, flame and surface temperature, ash generation and calorific value. The first step in the development of briquettes was to find the ideal formulation between biofuel and binder, for which the different compositions treated in the literature were taken as reference. As a result it was obtained that the briquettes elaborated with bagasse and filter cake are not resistant to the fall or the compression, reason why they are discarded for the rest of the tests; however, those made with final honey offer very good results in all the proposed compositions, being those made with 65 % ground carbon, 15 % molasses and 20 % water which provide the best values.

# Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1: Marco Teórico de la Investigación. ....	5
1.1 Carbón vegetal. Generalidades. ....	5
1.1.1 Métodos de producción de carbón vegetal.....	6
1.1.2 Calidad del carbón vegetal.....	7
1.1.3 Producción y comercialización de carbón vegetal en Cuba.....	10
1.2 Briquetas. Generalidades.....	11
1.2.1 Aspectos históricos de la aglomeración y el briqueteado.....	12
1.2.2 Características de las briquetas.....	14
1.3 Aprovechamiento de la carbonilla.....	17
1.4 Aglutinantes.....	18
1.5 Aglutinantes de la industria azucarera.....	21
1.5.1 Bagazo.....	21
1.5.2 Cachaza.....	22
1.5.3 Miel final.....	23
1.6 Tipos de procesos para la fabricación de briquetas.....	25
1.6.1 Artesanales.....	25
1.6.2 Semindustriales.....	25
1.6.3 Industriales.....	26
1.7 Aspectos económicos de la fabricación de briquetas.....	27
1.8 Estado actual del mercado nivel internacional.....	29
1.9 Experiencias de fabricación de briquetas a nivel nacional.....	31
Capítulo II: Procedimientos para fabricar y evaluar las propiedades fisicoquímicas de las briquetas de carbón vegetal.....	33
2.1 Carbón y briquetas en Cienfuegos.....	33

2.1.1 Exportaciones de los últimos años .....	33
2.2 Balance de masa para la carbonilla.....	35
2.4 Procedimiento para la evaluación de las propiedades fisicoquímicas de briquetas... 36	
2.5 Diseño experimento para evaluar las propiedades de las briquetas .....	36
2.5.1 Técnicas a utilizar.....	39
Capítulo III: Análisis de los resultados.....	44
3.1 Prueba de tamizado para la carbonilla: .....	44
3.2 Pruebas realizadas a las briquetas elaboradas.....	45
3.3 Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la briqueta elaboradas con miel final. ....	47
3.4 Tabulación y comparación de los resultados .....	56
3.5 Evaluación económica de las briquetas elaboradas .....	62
3.6 Distribución de las briquetas elaboradas .....	63
3.7 Consideraciones ambientales y sociales .....	63
Conclusiones.....	65
Recomendaciones .....	66
Referencias bibliográficas .....	
Anexos .....	

## **Introducción**

Actualmente, con el crecimiento de las naciones se ha dado mayor importancia al adecuado aprovechamiento de sus recursos energéticos. En particular, la crisis energética ha impulsado el desarrollo de nuevos combustibles y el beneficio de desechos de distinta naturaleza para utilizarlos como tales. La producción de carbón vegetal tiene, en las aplicaciones industriales, un mercado potencial con grandes posibilidades de expansión, siempre y cuando dispongan de los equipos que les permitan producir un carbón vegetal cuya calidad convenga a la industria. El uso doméstico del carbón se refiere a los carbones fabricados de partes leñosas de las plantas, los cuales son trozos más o menos sólidos de carbón que se pueden envasar y comercializar directamente, mientras que los residuos biomásicos que quedan muy desmenuzados no son aprovechados (Velásquez, 2014).

El transporte y la manipulación del carbón vegetal producen carbonilla fina que puede alcanzar el 10 %, en peso, en la mejor de las circunstancias, y el 20 % o más, en el peor de los casos. Cuanto más el carbón vegetal se elabora y cuantas más son las etapas de transporte, tanta más carbonilla será producida. En la actualidad la utilización de los residuos de este proceso tiene cierto grado de desaprovechamiento, la carbonilla o virutas de carbón se almacenan en grandes espacios físicos sin ser utilizada. Una de las vías para utilizar estos residuos es convirtiéndolos en pellets o briquetas, conocidos también como biocombustibles sólidos densificados (FAO, 1983).

Las briquetas o bloques sólidos son combustibles para generar calor, aplicado en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas. Es un producto 100 % ecológico y renovable, ya que están hechas de desperdicios, que viene en diferentes formas: cilíndrica, de ladrillo, de almohadilla y sustituye a la leña con muchas ventajas: poder calorífico similar, fácil y rápido encendido, baja humedad, alta densidad, ocupa menos espacio, homogéneas, fácil manipulación, sin olores, humos ni chispas y menor porcentajes de cenizas. Las briquetas de carbón vegetal son la forma más cómoda y económica de tener buenas brasas, para la realización de una barbacoa, o de cualquier otro proceso de obtención de calor ya que prenden muy fácilmente, y además producen brasa muy rápidamente, siendo esta muy



duradera, que aguanta más tiempo encendida que la del carbón vegetal normal (Otálora, 2011).

Los métodos industriales de briquetado datan de la segunda parte del siglo XIX, desde entonces el uso de las briquetas ha estado ligado a períodos de escasez de combustible y a épocas de crisis. Durante la II Guerra Mundial la fabricación de briquetas a partir de residuos de madera, carbón y otros desperdicios se encontraba muy extendida en Europa y América, tras la guerra las briquetas fueron apartadas del mercado por los hidrocarburos baratos, de nuevo durante los períodos de alto precio de la energía, como los años 70 y principios de los 80, el uso de briquetas se revitaliza, principalmente en Escandinavia, los Estados Unidos y Canadá. Actualmente la tendencia es producir briquetas de combustible de bajo costo económico, a partir de residuos no utilizados para otros usos de mayor valor. (Ortiz, 2003)

Para la obtención de briquetas, es necesaria la presencia de un aglutinante, el cual se encarga de brindar la humedad precisa para lograr la compactación del carbón convertido en polvo. La variedad del aglomerante se puede obtener de residuos de industrias como la azucarera, la de almidón, de resinas sintéticas lo cual contribuye una vez más a disminuir la contaminación. Los aglutinantes usados en las briquetas de carbón vegetal pueden clasificarse como emisores y no emisores de hollín, además deben elegirse objetivamente ya que representan una porción significativa de la composición de la briqueta, además de que el humo y el olor que algunos despiden durante su quemado es indeseable (Corredor, 2012).

Muchos son los adhesivos que se han ensayado, siendo el almidón el más común y efectivo, así como la miel final, la arcilla y la lignina están también clasificados dentro de los que proporcionan mayor calidad a las briquetas. Un buen aglutinante siempre será aquel que permita la adherencia de la materia, no permita desmenuzamiento de la briqueta pero al mismo tiempo sea material manejable y apto para la combustión. Es importante conocer tanto las propiedades físicas como las propiedades químicas de los aglutinantes para la elaboración de las briquetas. Tomar en cuenta que el aglutinante en la elaboración de las briquetas debe cumplir ciertas características: debe ser fácil de manejar, favorecer la

durabilidad, así como ser compatible y mezclarse bien con el material a utilizar (Corredor, 2012).

Según (Herrera, 2017) el carbón vegetal cubano goza de aceptación en el mercado mundial, debido a su calidad y las características de su llama azul, sin humo y carente de ceniza. El precio de la tonelada en el mercado internacional ronda los 300 dólares. Canadá, Portugal, España y Grecia son algunas de las naciones que prefieren el carbón vegetal facturado en el territorio. En Cienfuegos la producción de carbón vegetal ha crecido los dos últimos años, convirtiendo a esa provincia en la segunda del país que más aporta a los mercados foráneos, con varias zonas destinadas a su fabricación en la Empresa Forestal, la Empresa Henequenera Juraguá, el polo del Circuito Sur y Horquita, entre otras (Molina, 2017).

### **Problema de investigación**

No existe, al menos visible, un estudio que muestre el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas de briquetas elaboradas a partir de carbonilla que permita identificar el mejor aglutinante derivado de la industria azucarera en la provincia de Cienfuegos.

### **Hipótesis**

Si se evalúan las propiedades fisicoquímicas de briquetas elaboradas aprovechando la carbonilla, se logra identificar el mejor aglutinante a partir de residuos azucareros.

### **Objetivo General**

Fabricar a escala de laboratorio briquetas a partir de carbonilla y residuos azucareros y evaluar sus propiedades fisicoquímicas con el fin de identificar el mejor aglutinante.

### **Objetivos específicos**

1. Establecer los fundamentos teóricos sobre la fabricación de briquetas de carbón vegetal.
2. Seleccionar los residuos de la industria azucarera que puedan ser usados como aglutinantes para la elaboración de briquetas.
3. Determinar mediante un diseño de experimento las variables que influyen en la calidad de las briquetas.
4. Proponer una formulación del aglutinante según la mezcla utilizada.

5. Evaluar económicamente la formulación propuesta.

Con vistas a alcanzar los objetivos planteados en la investigación el trabajo se estructura en tres capítulos, conclusiones y recomendaciones.

En el Capítulo I, se establecen las bases teóricas acerca de la composición, tipos de briquetas, sus usos, así como los diferentes aglutinantes que se utilizan en su fabricación.

En el Capítulo II se detallan las características del diseño de experimento y se describen las técnicas utilizadas en la investigación para la evaluación de las propiedades fisicoquímicas siguientes: humedad eliminada, densidad, resistencia tanto al impacto como a la compresión, tiempo de ignición, tiempo de combustión, porcentaje de humeo, olor, temperatura de la llama y de la superficie, generación de cenizas y valor calórico.

En el Capítulo III se exponen los resultados de los ensayos realizados a las briquetas obteniendo la formulación ideal entre el biocombustible y el aglutinante y además se realiza evaluación económica del proceso.

# Capítulo 1: Marco Teórico de la Investigación

## 1.1 Carbón vegetal. Generalidades

El carbón vegetal como combustible sólido presenta la ventaja frente a la biomasa que le dio origen, de tener un poder calórico mayor o, lo que es lo mismo, un peso menor para igual cantidad de energía, lo que permite un transporte más fácil según la (Secretaría de Energía de Argentina, 2005). El carbón vegetal es el residuo sólido que queda cuando se carboniza la madera en condiciones controladas, en un espacio cerrado, como es el horno de carbón. El control se hace sobre la entrada del aire durante el proceso de pirólisis o de carbonización, para que la madera no se quemara simplemente en cenizas, como sucede en un fuego convencional, sino que se descomponga químicamente para formar el carbón vegetal. En realidad, no se requiere aire en el proceso; en efecto, los métodos modernos tecnológicos de producción de carbón de leña, no permiten ninguna entrada de aire; la consecuencia es un mayor rendimiento, ya que no se quema con el aire un exceso de madera y se facilita el control de la calidad (FAO, 1983).



**Figura 1.1.** Trozos de carbón vegetal

**Fuente:** (Secretaría de Energía de Argentina, 2005)

El proceso, una vez iniciado, continúa por su cuenta y descarga notable cantidad de calor, sin embargo, esta descomposición por pirólisis o termal de la celulosa y de la lignina, que constituyen la madera, no se inicia antes que la madera llegue a una temperatura de alrededor de 300 °C según (Avilés, 2011). En la carbonera o fosa tradicional, se parte de la madera puesta en el horno que se quema para secar y aumentar la temperatura de la carga

total de madera, para que la pirólisis se inicie y continúe hasta el final por su cuenta. La madera quemada de esta manera se pierde; en contraste, el éxito de las sofisticadas retortas continuas produciendo altos rendimientos de carbón vegetal de calidad, se debe a la forma ingeniosa por la cual emplean el calor de la pirólisis, normalmente desperdiciado, para elevar la temperatura de la madera que va llegando, de manera que se completa la carbonización sin quemar cantidades adicionales de madera, si bien se requiere una cierta cantidad de calor de impacto para compensar las pérdidas de calor a través de las paredes y otras partes del equipo. Para proporcionar este calor y para secar la madera puede quemarse el gas combustible de la madera soltado durante la carbonización de la misma. Todos los sistemas de carbonización ofrecen mayores eficiencias cuando son alimentados con madera seca, puesto que la eliminación del agua de la madera requiere grandes insumos de energía calorífica (FAO, 1983).

En las aplicaciones domésticas o las barbacoas es importante el contenido remanente de alquitrán (o volátil) del carbón vegetal. A mayor contenido de carbono fijo, menor contenido de alquitrán y menos humo durante la combustión. Para las aplicaciones metalúrgicas también son importantes el contenido de ceniza y el tamaño y la resistencia a la compresión del carbón (Stassen, 2002).

### **1.1.1 Métodos de producción de carbón vegetal**

- Producción tradicional de carbón vegetal: hasta principios del siglo XX la práctica totalidad del carbón vegetal se producía con métodos tradicionales. Se colocaba la leña en pozos excavados en la tierra, se le prendía fuego y se cubría con tierra. La combustión de parte de la madera producía bastante calor para carbonizar el resto. Otro método era cubrir con tierra y hierba montones de leña y prenderle fuego a través de aperturas en la cubierta de tierra (hornos de tierra). Las aperturas podían cerrarse y abrirse convenientemente, y podían practicarse otras para controlar la entrada de aire. Este método permitía controlar la combustión y la carbonización algo mejor que el del pozo. Ambas técnicas se siguen practicando en muchos países en desarrollo, sobre todo porque son baratas. No obstante, sus rendimientos son muy bajos (normalmente un kg de carbón vegetal a partir de 8 a 12 kg por lo menos de leña), la calidad no es uniforme

(porque es difícil mantener una carbonización uniforme) y contaminan el medio ambiente al emitir alquitranes y gases venenosos (Wolf, 1985).

- Métodos tradicionales mejorados: en los años 60 y 80 del pasado siglo se consiguió mejorar la producción tradicional de carbón vegetal equipando los hornos de tierra con chimeneas hechas con bidones de petróleo (hornos Casamance) y construyendo pequeños hornos de acero o ladrillo. Con una buena práctica, son posibles rendimientos de 1 kg de carbón a partir de 4 a 5 kg de leña secada al aire. Más corrientes son rendimientos de 1 kg de carbón por 6 a 8 kg de leña. La ventaja de procedimientos que utilizan una cobertura sólida (metal, ladrillo u hormigón) es su cierre hermético, que minimiza el efecto de una mala supervisión y da resultados más uniformes (Wolf, 1985).
- Tecnologías de producción industrial: la demanda industrial de carbón vegetal en el siglo XX suscitó nuevas tecnologías en mayor escala para mejorar el rendimiento y la calidad. Se concibieron diferentes tipos de hornos de ladrillo o metal de funcionamiento intermitente o retortas de funcionamiento continuo, que elevaron considerablemente el rendimiento (1 kg de carbón por 5 a 7 kg de leña) y produjeron un carbón mucho más uniforme con un mayor contenido de carbono fijo (Wolf, 1985).

### **1.1.2 Calidad del carbón vegetal**

El mercado para el carbón vegetal, menos exigente desde el punto de vista de la calidad, es el doméstico. Las razones son que no puede medirse fácilmente su performance, es mínimo el poder del consumidor como individuo, de especificar y de obtener carbón vegetal de buena calidad, y hay una cierta compensación posible entre el precio y la calidad que el consumidor familiar usa para tener resultados satisfactorios. Sin embargo, esto no significa que no hay motivos para el control de calidad. Siempre que no se transforme en un obstáculo o burocráticamente contra productivo, un sistema de sugerimientos sobre calidad del carbón vegetal para el uso casero, es una práctica justificada para asegurar el máximo rendimiento del recurso maderero, sin dejar de ofrecer una adecuada performance en el uso familiar. Por otra parte, los grandes usuarios, como es el caso de la industria siderúrgica por su propia experiencia e investigación, las propiedades que buscan en el carbón vegetal

deben asegurar que este se ajusta a sus especificaciones y produzca el hierro fundido con costos globales mínimos (FAO, 1983).

La mayoría de las especificaciones usadas para controlar la calidad del carbón vegetal se han originado en la industria del acero o química. Cuando el carbón se exporta, los compradores tienden a usar estas mismas especificaciones de calidad industrial aun si el principal destino del carbón vegetal importado pueda más bien ser para la cocina doméstica o asados. Debe tenerse en cuenta esta situación puesto que los requisitos industriales y domésticos no son siempre los mismos y una inteligente evaluación de los reales requisitos de calidad del mercado, pueden permitir surtir carbón vegetal más barato o en mayores cantidades, beneficiando sea al comprador como al vendedor (FAO, 1983).

En Cuba, las especificaciones de calidad para el carbón están estipuladas en la Norma Cubana (NC: 580, 2008), la cual es aplicable a todas las entidades estatales, privadas y en cualquier modo de organización que realice esta producción, a continuación se describen dichas especificaciones:

**Tabla 1.1.** Especificaciones de calidad del carbón vegetal.

Especificaciones	Selecta	Calidad	II
Diámetro (cm)	3-10	3-10	3-10
Largo (cm)	4-25	4-25	4-25
Carbonilla (%)	Máximo 5	Máximo 5	Máximo 6-10
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,25-0,35	0,25-0,30	0,20-0,30
Contenido de carbono (%)	>82	76-82	68-75
Humedad (% en masa)	Máximo 6	Máximo 6	Máximo 10
Cenizas (% en masa)	Máximo 3	Máximo 3	Máximo 5
Materia volátil (% en masa)	Máximo 10-15	Máximo 10-15	Máximo 20-25
Color	Negro brillante	Negro brillante	Negro brillante
Sonido	Metálico	Metálico	Metálico
Impurezas	No se admiten	No se admiten	No se admiten

**Fuente:** (NC: 580, 2008)

Aun con un carbón vegetal de buena calidad su quema deberá ser eficiente para obtener sus mejores resultados. Este es especialmente válido en el uso doméstico, donde se quema la mayor cantidad de carbón vegetal. Los hornos industriales para quemar el carbón vegetal,

tales como los altos hornos, cúpulas, hornos de precipitación etc., son por lo general diseñados y hechos funcionar con eficiencia. El empleo principal del carbón vegetal, en los hogares del mundo en vía de desarrollo, es para calentar agua, sea para cocinar la comida, sea para tener agua caliente para lavado, etc. (FAO, 1983).

Algunas comidas se cocinan directamente sobre el fuego sin sumergir en el agua, como para tostar el maíz o asar la carne. Un método de cocido sería 100 % eficiente si todo el calor, liberado al quemar el combustible, fuese tomado por el alimento que se cocina, lo que está lejos de suceder en la práctica. Un resultado típico, para equipos bien diseñados y hechos funcionar bien, es el de una eficiencia de alrededor del 30 %, significando que el 70 % del calor se pierde inútilmente. En un clima frío, puede capturarse parte de este calor desperdiciado y usarse para calentar el ambiente del cuarto, cumpliendo por lo tanto una función útil que hace aumentar la eficiencia global.

Teóricamente, es posible aumentar la eficiencia de la transferencia de calor, desde el carbón que arde al alimento, aumentando el costo y las complicaciones de la cocina, pero raramente resulta práctico. Quienes pudieran haberse permitido esta complicación no estarían generalmente quemando carbón vegetal sino algún otro combustible de mayor prestigio social o conveniencia. Es necesario llegar a un compromiso para obtener la mejor eficiencia posible, en concordancia con instalaciones de cocina sencillas y de bajo costo que puedan ser usadas por la mayor parte de los usuarios de carbón vegetal (FAO, 1983).

El carbón vegetal, contrariamente a la leña, transfiere una buena cantidad de su calor a las vasijas de cocina, por radiación desde la cama combustible ardiente. Con la leña ardiente, donde gases calientes son producidos por altas llamas perezosas, la transferencia de una buena cantidad de calor a las vasijas de cocina deberá ser por convección. Para la transferencia del calor por convección, los gases calientes deben tocar materialmente el recipiente, mientras que el calor radiante se transfiere por radiación infrarroja, emitida directamente por la cama ardiente y absorbida por la superficie de la vasija u otro objeto. Por lo tanto, la vasija debe estar en condiciones de ver el lecho ardiente para poder recoger y absorber la energía calorífica radiante (FAO, 1983).



### **1.1.3 Producción y comercialización de carbón vegetal en Cuba**

Plantas exóticas invasoras como el marabú y cítricos con plagas son la nueva materia prima en Cuba para hacer carbón vegetal, un producto artesanal muy demandado en Europa por su llama azul con poco humo y ceniza. En 2013, el país exportó 70 200 toneladas de biocarbón a Alemania, Bélgica, Canadá, España, Francia, Grecia, Italia, Israel, Portugal y Turquía, a unos 300 dólares por tonelada. Representó un gran salto con respecto a las más de 40 000 toneladas producidas en 2012 para el mercado interno y externo. Este combustible renovable, muy usado en las barbacoas familiares y en la restauración, es después del tabaco el rubro que más ganancias reporta al Ministerio de la Agricultura (González, 2014).

Se estima que los impenetrables marabusales, de hasta cinco metros de altura y ramas espinosas, infecta el millón 46 100 hectáreas de tierras ociosas cubanas, lo que dificulta recuperarlas para mejorar la deprimida agricultura local. El área infectada representa 10 % del territorio cubano y 18 % de las tierras agropecuarias. Por ello, en la última década en Cuba, la obtención del carbón se debe al aprovechamiento de este arbusto (*Dichrostachys cinerea*), originaria de África que es la más extendida de las 323 plantas exóticas invasoras identificadas por los científicos en el país. En el caso de la Empresa estatal Agroindustrial Cítricos Ceballos, en la ciudad de Ciego de Ávila, a 434 kilómetros al este de La Habana, líder de la exportación carbonera, aprovecha los árboles de cítricos que tala por envejecimiento o el azote de plagas (González, 2014).

En Cuba se obtiene biocarbón mayormente en hornos de tierra, que se estructuran con grandes pilas de madera cubiertas de hierbas, tierra y troncos secos con aberturas para prenderle fuego. Si bien este método resulta barato, rinde solo un kilogramo de carbón vegetal por entre ocho y 12 kilogramos de leña, según el artículo “Nuevas tecnologías de producción de carbón vegetal”, del investigador holandés Hubert E. Stassen. La mayoría de los carboneros y leñadores en Cuba son independientes, algunos laboran por temporada y otros integran cooperativas agropecuarias o empresas agrícolas estatales. Entre las provincias con más auge de la actividad figuran las centrales Cienfuegos, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey, y la oriental Holguín. Otros retos inmediatos son modernizar el sector del biocarbón, mejorar los centros de beneficio (mejora) del producto primario,

garantizar más insumos y medios de protección a los productores, evitar atrasos en los pagos y atraer la fuerza joven (González, 2014).

La empresa española Ibérica y Combustibles Sólidos (Ibecosol S.L), comenzó a comercializar el carbón cubano en el año 2007. Desde entonces hasta hoy, ha sido considerable el aumento de la demanda de este producto en mercados tan exigentes como es el caso del europeo. Ibecosol aportó toda la tecnología que se utiliza hoy en la planta de beneficio de Jobabo en la provincia de Las Tunas, no obstante, colaboró también para el montaje, dentro de la propia instalación, de una fábrica para otro producto también muy demandado en el mercado, y que tiene a la carbonilla o deshechos del carbón como su principal materia prima: la briqueta. En el caso de la fábrica de briquetas ya se completó una etapa inicial de prueba con muy buenos resultados y se espera que para marzo ya se pueda iniciar la exportación de este producto (Herrera, 2017).

En Cienfuegos la producción ha crecido los dos últimos años, convirtiendo a la provincia en la segunda que más aporta a los mercados foráneos. La producción de carbón vegetal aquí ha estampado un salto exponencial en el más reciente lustro, al pasar de las mil 496 toneladas aportadas en el año 2011 a las 6 mil 317 toneladas en el 2016, cuando se entregaron 379 más de las comprometidas (Molina, 2017).

## **1.2 Briquetas. Generalidades**

Las briquetas son un biocombustible de 80 a 100 % ecológico y renovable catalogado como biomasa sólida. Tiene forma cilíndrica o rectangular de diferentes tamaños y longitudes según el fabricante. Debido a su consistencia y características, su manipulación y su combustión es más eficaz que el de otras formas de utilización de madera como combustible (trozos de madera, leña). Esto hace que su rendimiento sea mayor que el de la leña. Su modo de empleo es similar al de la leña tradicional, por lo que pueden utilizarse en cualquier sitio donde se utilice leña, como por ejemplo en estufas, chimeneas, salamandras, hornos, calderas o actividades industriales. Su constitución compacta y uniforme hace que sean fáciles de transportar y limpias en su manipulación, utilizando un mínimo espacio para su almacenamiento. Además pueden seccionarse fácilmente sin necesidad de herramientas, para poder ser utilizada en chimeneas de menor tamaño o controlar la potencia de la combustión (Maldonado, 2015)

La combustión de las briquetas es tranquila, constante y sin producir grandes humos, además únicamente produce un bajo porcentaje de ceniza, y tiene un alto valor calórico, 2,21 kg de briquetas sustituyen a un litro de gasoil. Protegidas ante el contacto directo del agua, las briquetas pueden ser almacenadas durante largos períodos de tiempo, sin que por ello pierdan en consistencia o calidad (Arce, 2013).

La materia prima de las briquetas puede ser biomasa forestal, residual industrial, residual urbana, carbón vegetal o una mezcla de todas ellas. Generalmente son elaboradas con materia residual como madera, bagazo de caña de azúcar, cascarilla de arroz, papel, residuos de pulpa de papel, residuos de algodón, cartón, carbón, cáscara de coco, etc. Las briquetas son utilizadas para la calefacción, para cocinar y para uso industrial como ladrillos, cemento, cal, secadores, metalurgias, tostadores y demás procesos que consumen la energía producida por las mismas (BRIEC, 2011).

### **1.2.1 Aspectos históricos de la aglomeración y el briqueteado**

El paso de todas estas manifestaciones primitivas de la aglomeración hasta que es considerada como una tecnología, se produce hace solamente unos 150 años y comenzó principalmente como un método para recuperar y usar finos de carbón. La consideración de la aglomeración como una ciencia y una operación unitaria es todavía más reciente, empezando en los años 1950 con la definición de los mecanismos aglutinantes. Desde entonces ha experimentado un gran desarrollo debido a las amplias posibilidades de su utilización (Pietsch, 1991).

El briqueteado de carbón es una de las variantes más antiguas y extendidas del aumento de tamaño por aglomeración. Como ya se ha indicado, comenzó utilizando finos de carbón para usos domésticos, para industrias energéticas y de transporte y llegó a ser una industria importante durante la primera mitad del siglo XX en Europa y en Estados Unidos. En 1848 William Easby patentó en Estados Unidos la conversión de finos de carbón en trozos compactos más grandes utilizando presión (Komarek, 1967).

La ventaja y utilidad de este método consistía en la conversión de un material de poco valor o de deshecho en un producto más valioso. Entre 1890 y 1920 la mayoría de las briquetas se consumieron en los ferrocarriles y centrales térmicas provistas de parrilla. La demanda

hizo aumentar la producción y mejorar la tecnología principalmente en Alemania. Esto se mantuvo hasta los años 1960 y 1970 cuando los precios de las briquetas no pudieron competir con combustibles más baratos y más "limpios" como fracciones de petróleo y gas natural, además de restringirse el mercado del ferrocarril e ir apareciendo leyes más restrictivas con respecto al medio ambiente. Debe tenerse en cuenta que los aglutinantes más utilizados eran breas y bitúmenes de carbón (Oreggioni, 2014).

Un poco más tarde y paralelamente al desarrollo del briqueteado de carbones comenzaba otra técnica de aglomeración, el peletizado de concentrados de minerales de hierro. También se desarrollaron el peletizado de piensos para el ganado, la granulación de fertilizantes, la preparación de tabletas y píldoras en la industria farmacéutica, el briqueteado de materiales cerámicos y refractarios y la aglomeración de productos pulverulentos minerales y químicos para mejorar su manejo en procesos posteriores (Oreggioni, 2014).

Al principio se utilizaron prensas de pistón tipo Coufinhal para producir briquetas en forma de ladrillo, partiendo de finos de carbón y utilizando aglutinantes como bitumen, brea o alquitrán; estas briquetas se utilizaban como combustibles para máquinas de vapor y locomotoras. A mitad del siglo XIX se desarrolló en Europa la prensa de doble rodillo que permitía aumentar la producción y rebajar costos. En el último tercio del siglo XIX se instaló en Port Richmond, Estados Unidos, la primera prensa de rodillo que funcionó satisfactoriamente y en el año 1858 comienza ya en Alemania el briqueteado de carbones pardos. Es en este país, así como en Bélgica, Francia y Reino Unido donde se produjeron, a principios del siglo XX, los desarrollos más notables (Pietsch, 1991).

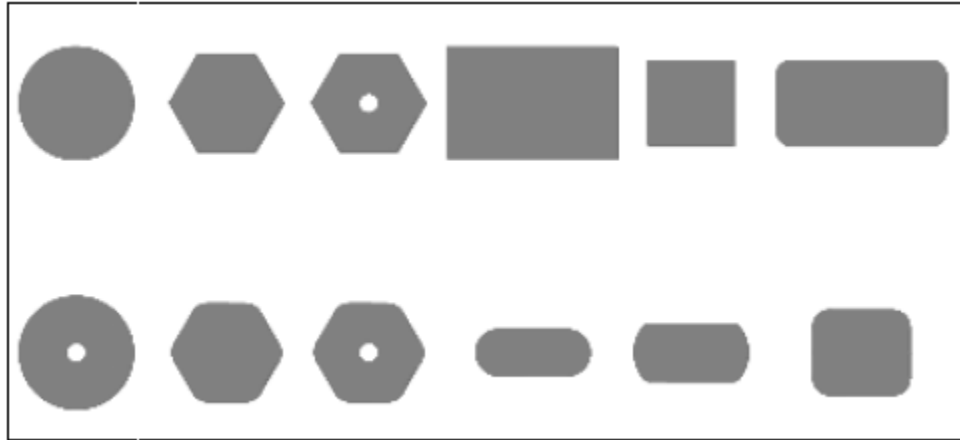
En 1920 se fabricaron en Alemania más de 23 Mton de briquetas de carbón en 240 plantas (Knauth, 1992). En 1924 comenzó en Victoria (Australia), la fabricación de briquetas que más tarde se exportarían a Japón y Corea (Bates, 1997). Por aquellas fechas se ensayaron como aglutinantes materiales muy variados como huesos, basuras urbanas e incluso asbestos. En 1924 se plantea el uso de melazas con ácido fosfórico como aglutinante para producir briquetas con alta resistencia mecánica. En 1925 se informó de la utilización de dextrina en la aglomeración de carbón y posteriormente se registraron numerosas patentes que empleaban almidón sólo o mezclado con otros aglutinantes (Rupp-Dahlem, 1995).

Después de la II Guerra Mundial se produce un corto periodo de aumento de producción en Europa debido al desarrollo de nuevos equipamientos; en esta zona y encabezados por Alemania se fabricaron, a mediados de los años 1960, la mayor cantidad de briquetas. Las producidas a partir de carbones pardos no utilizaban aglutinantes y se aglomeraban en prensas de extrusión y de rodillo; más del 80 % de la producción mundial de briquetas de este tipo las producían entre las dos Alemanias (Schinzel, 1981).

A partir de 1964, por exigencia de los mercados, se comienzan a fabricar briquetas más económicas y de mejor calidad. Las mejoras se obtienen principalmente por la atención a detalles técnicos del proceso como el método de adición del aglutinante, tipo de prensas empleadas y seguimiento de la influencia de la presión de briqueteado. También se van sustituyendo los aglutinantes más empleados, breas y bitúmenes de carbón, por derivados del petróleo, lignosulfonatos, almidones, melazas, etc. La utilización de aglutinantes para briquetear carbones bituminosos y antracíticos destinados a combustión y coques hace necesaria una etapa de tratamiento térmico que comunique a las briquetas crudas las propiedades mecánicas adecuadas. Tanto la carbonización a baja temperatura, menores de 600 °C y a alta temperatura, mayor que 600 °C como el tipo de horno de estos tratamientos térmicos dieron lugar a numerosos procesos de briqueteado. También se utilizó el briqueteado en caliente, entre 400-500 °C, cuando se empleaba una mezcla de carbones y alguno de ellos tenía propiedades coquizantes (Schinzel, 1981).

### **1.2.2 Características de las briquetas**

La forma de las briquetas puede ser muy variable y depende de la maquinaria utilizada en su obtención. Cuando las briquetas se fabrican con una prensa de tipo tornillo sinfín, dejan un hueco en su interior, con lo que la relación superficie - volumen es mayor. Casi todas las briquetas fabricadas en la actualidad son de forma cilíndrica, cuyo diámetro supera los 5 cm, siendo el diámetro más usual comprendido entre los 7,5 cm y los 9,0 cm. La longitud es variable entre los 50 y 80 cm. Normalmente, a mayor diámetro mayor es la longitud. El agujero interno de las briquetas conlleva ventajas y desventajas, entre ellas, se consigue una ignición más rápida, se reduce el tiempo de secado; esto puede resultar ventajoso o perjudicial (dependiendo del objetivo buscado) (Maldonado, 2015).



**Figura 1.2.** Formas más comunes de las briquetas.

**Fuente:** (Maldonado, 2015).

Las formas cilíndricas o de sección rectangular, redondeada en las esquinas ayudan a que la briqueta no se desintegre por golpes. Estas últimas arden más despacio y se almacenan mucho mejor, pues ocupan menos volumen a igualdad de peso que el tipo cilíndrico o el de prisma octogonal hueco. En una briqueta las dimensiones dependen del fabricante, para que sea utilizada en fines requeridos y específicos. Como la composición de las briquetas es variable, también lo será su color, dependiendo del tipo de la materia orgánica, como si en la cara exterior de la briqueta se produce la biquetización de la misma, el color es más oscuro y parece como negruzco. Se procura que el aspecto de la briqueta sea lo más parecido a la leña, para que parezca que en las chimeneas arde leña, por ello se prefieren las briquetas cilíndricas (Maldonado, 2015).

La composición química elemental de las briquetas condiciona el valor calórico y dependerá del material utilizado. Si se emplean aditivos, se deberá tener en cuenta la composición química de los mismos. Lo ideal es conocer los porcentajes (en peso) de madera, corteza y aditivos empleados, así como la humedad a la que se manipulan estos productos. Conocidos estos porcentajes puede evaluarse de forma aproximada la composición química de las briquetas (Alma, 2014).

La humedad de la briqueta en el momento inicial de la conformación de la misma está en dependencia de la cantidad de agua añadida, ya sea formando parte del aglutinante como el

líquido puro. Luego del proceso de secado, parte de esta agua o en algunas ocasiones su totalidad es eliminada, dependiendo también del porcentaje añadido inicialmente.

Otra de las características de la briqueta es que presenta mayor densidad que otros combustibles elaborados a base de residuos maderables lo cual facilita su transporte, manipulación y almacenamiento; resultando una ventaja al comparar las briquetas con otros combustibles forestales. El objetivo final del proceso de briquetado es obtener un producto final de mayor densidad que los iniciales. A mayor densidad la briqueta ocupa menos volumen (a igualdad de peso) que la leña por lo tanto su manipulación será más sencilla. La densidad de las briquetas varía de 400 a 800 kg/m<sup>3</sup> contra 200 a 280 kg/m<sup>3</sup> del carbón vegetal (Alma, 2014).

La terminación del encendido inicial o fase de ignición es apreciable por la aparición de ceniza visible en la briqueta, y está definido como el tiempo en el cual existe 60 % a 80 % de formación de ceniza visible en la briqueta. Esto ha sido llamado por algunos como el tiempo de cubrimiento de ceniza. El proceso de combustión de las briquetas ofrece información de suma importancia para evaluar la validez de las mismas. En investigaciones precedentes el rendimiento en tiempo de combustión de las briquetas depende de varios factores, entre ellos el tipo de aglutinante, lugar de la combustión (abierto o cerrado), pero en la mayoría de los casos se obtiene un tiempo aproximado de 1 a 3 horas en el mejor de los casos (Sánchez, 2007).

El tema del porcentaje de humeo es de vital importancia para la comercialización de las briquetas, este debe encontrarse prácticamente nulo para que la calidad sea la mejor. En el caso de la temperatura se debe tener en cuenta que la medición de esta se realiza en dos puntos significativos, en la llama y en la superficie; obteniéndose como resultado para la temperatura de la llama valores que superan los 300 °C y para la superficie alrededor de los 150 a los 200 °C. La producción de cenizas de las briquetas también depende de la composición de estas, los valores registrados se encuentran para las de mayor producción entre 16 y 20 % (Moreno, 2002).

El valor calórico es la característica fundamental de un combustible el cual lo define como tal. Altos poderes caloríficos indican buenos combustibles y bajos poderes caloríficos

señalan malos combustibles, este depende fundamentalmente de la composición química del combustible. Para el caso de las briquetas, el valor calórico está en función del material del cual está compuesto. Suponiendo que la briqueta está compuesta de madera sin aditivos, entonces su valor calórico será igual al de la madera que la conforma, pero en el caso de existir presencia de aditivos es diferente (Alma, 2014). El valor calórico de las briquetas se encuentra alrededor de las 8350 kcal/kg según (Prudente, 1989), contra las 7900 kcal/kg del carbón vegetal (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1978), mientras que (Martín, 1989), ofrece un valor de 4500 kcal/kg y (Martínez, 2002) acerca el valor a las 4289,4 kcal/kg.

### **1.3 Aprovechamiento de la carbonilla**

La carbonilla fina tiene una pureza muy inferior a la del carbón vegetal en pedazos, esta contiene, aparte del carbón vegetal, fragmentos, arena mineral y arcilla, recogidos del suelo, y de la superficie de la madera y corteza. La carbonilla pulverizada fina producida de la corteza, ramitas y hojas tiene un contenido de ceniza mayor que el carbón vegetal normal de la madera. La mayor parte de este material indeseado con alto contenido de cenizas, puede ser separado tamizando la carbonilla y descartando el material de menor tamaño, que pasa por malla de dos a cuatro mm. Este material fino puede aún contener más del 50% de carbón vegetal según su grado de contaminación pero, sin embargo, es difícil hallarle utilidades. El material retenido sobre el tamiz consistirá mayormente en pedazos de buen carbón vegetal y, una vez machacado, puede ser aglomerado (FAO, 1983).

La carbonilla no puede ser quemada con los sencillos métodos corrientes de quemar el carbón, por lo que son más o menos invendibles. Pero si las carbonillas pudieran ser totalmente usadas, la producción global del carbón vegetal aumentaría de un 10 a 20 %. El aglomerado en briqueta o sea, convertir la carbonilla fina en trozos de carbón parece ser la contestación obvia. Desafortunadamente, la experiencia ha demostrado hasta ahora que, si bien es técnicamente posible hacer briquetas con carbonilla, los aspectos económicos generalmente no favorecen, a menos que el precio del carbón en trozos sea muy alto y se obtenga carbonilla a un costo muy bajo o regalado (FAO, 1983).

La carbonilla fina, cuando es disponible en grandes cantidades, tiene empleos industriales, desafortunadamente, la actual falta de infraestructura industrial, allí donde por lo general se



fabrica el carbón vegetal en el mundo en desarrollo, impide emplear la carbonilla de esta manera. Los principales usos industriales de la carbonilla son como combustibles en las operaciones metalúrgicas y de calcinación. Por ejemplo, en la fabricación de hierro con carbón vegetal, la carbonilla puede ser inyectada en la base del alto horno con la ráfaga de aire, alrededor del 5% del carbón vegetal total puede ser inyectado de esta manera (FAO, 1983).

La carbonilla es excelente para la producción de "sinter" o sea hierro fundido parcialmente reducido, para proporcionar una alimentación de gran calidad a los altos hornos. Se trata de una de las mejores maneras de usar la carbonilla, ya que la cantidad que puede emplearse no está limitada a un porcentaje del total, como es el caso de la inyección en la base del alto horno. A pesar de estas posibilidades, queda el hecho que, para el típico productor de carbón vegetal, es mejor limitar la producción de carbonilla a un mínimo, ajustándose a buenas técnicas de producción de carbón vegetal, más que en invertir dinero en una producción marginalmente económica de madera de plantaciones o de bosques naturales, y de usar esta madera para ampliar la producción rentable de carbón vegetal (FAO, 1983).

#### **1.4 Aglutinantes**

Es necesario un adhesivo que se mezcle con la carbonilla en una prensa para formar un bloque o briqueta, que luego será pasado por un horno de secado, para curarlo o asentarlo, evaporando el agua para que dicho bloque resulte suficientemente resistente para ser usado en los mismos equipos de combustión del pedazo normal de carbón vegetal (Ramos, 2010).

El carbón vegetal es un material que carece totalmente de plasticidad y necesita por lo tanto del agregado de una substancia pegajosa o aglomerante para que se pueda formar el bloque. El adhesivo deberá preferentemente ser combustible, si bien puede adaptarse un adhesivo incombustible, efectivo a bajas concentraciones. Se prefiere el almidón por ser combustible, si bien es comúnmente caro. Son aptas las arcillas muy plásticas, siempre que no se las emplee con más del 15 %. Han sido empleados, también, el alquitrán y el betún de la destilación de carbón o de las retortas de carbón vegetal para briquetas de uso especial, pero tienen que ser carbonizados de nuevo, antes del empleo, para poder aglomerar correctamente; resultan de buena calidad pero de producción cara (Valderrama, 2014).

La prensa para hacer las briquetas debe ser bien proyectada, de construcción sólida y capaz de aglomerar la mezcla de carbón y adhesivo en forma adecuada para su manipuleo durante el proceso del curado o secado. La producción de briquetas debe justificar el costo de la inversión y del funcionamiento de la máquina. Las máquinas para fabricar briquetas de carbón vegetal son, por lo general, máquinas de precisiones costosas, capaces de una gran producción. Se han empleado prensas para hacer ladrillos, pero parece que para este objeto no hay máquinas comercialmente efectivas a un precio realmente bajo. El carbón vegetal es bastante abrasivo, por lo que los equipos para separar la carbonilla, moler, mezclarla con adhesivo, aglomerar, etc., deben ser resistentes al desgaste y bien diseñados (FAO, 2014).

Muchos son los adhesivos que se han ensayado, pero el almidón es el más común y efectivo, siendo adecuado en alrededor del 4 al 8 %, amasando una pasta con agua caliente. Primero, la carbonilla se seca y se tamiza, la muy fina se rechaza y la grande se muele. Este polvo se mezcla con la pasta de almidón pasándola a la prensa para el aglomerado. Las briquetas se secan en un horno continuo a alrededor de 80 °C. El almidón se asienta con la pérdida del agua, ligando el carbón en trozos que pueden ser manipulados y quemados igual que el común pedazo de carbón vegetal en hornillos o parrillas caseras. Por lo general las briquetas no son aptas para el uso como carbón vegetal industrial en los altos hornos y cúpulas de fundición, puesto que la adhesión se desintegra al mínimo calentamiento. Por este motivo, para producir briquetas metalúrgicas de carbón vegetal, con suficiente resistencia al desmenuzamiento, se necesitarán bloques ligados con alquitrán o betún que serán luego carbonizados en carboneras. El costo es demasiado elevado en la mayoría de los países, como para que el proceso encuentre aplicación industrial (Contreras, 2015).

Durante su fabricación, para tener un producto más aceptable, pueden agregarse sustancias que ayuden la combustión de las briquetas, como ceras, nitrato de sodio y otros. También, para reducir el costo de la briqueta, pueden mezclarse con la carbonilla, arcilla como adhesivo, sílice y otros. Esto por supuesto baja el valor calorífico y constituye una forma de adulteración por la que el consumidor paga, si bien podría afirmarse que la combustión mejora. Pero las briquetas bien hechas constituyen un producto aceptable y conveniente. La virtual ausencia de material fino y polvo, y su uniformidad las hacen atractivas para parrilladas. Cuando el mercado tiene altos precios se venden generalmente a casi el mismo

costo por kilogramos que el carbón vegetal en trozos, y tienen más o menos el mismo calor calorífico de un carbón vegetal comercial con el 10 - 15 % (de contenido de humedad) (Contreras, 2015).

La misión del aglutinante, como ya se ha indicado, consiste en favorecer la unión de las partículas sólidas que van a formar el aglomerado proporcionando a éste una resistencia adecuada. Esta característica fundamental e imprescindible debe cumplirla sea cual sea su estado físico, su naturaleza química y su tipo de función. Lógicamente su actuación en la aglomeración estará influenciada por éstas y otras propiedades físicas pero el mayor efecto de una actuación eficaz del aglutinante está basado en el tipo de función que desarrolla en cada caso y por el máximo aprovechamiento de esta cualidad mediante el uso de aditivos y los tratamientos de curado. Los mecanismos enlazantes generales que producen aglomeración han sido ya mencionados anteriormente y en ellos se apreciaba el papel que juegan los aglutinantes en la creación de puentes materiales o películas adherentes entre las partículas sólidas (Chicago, 2007).

Los aglutinantes tipo película actúan como pegamentos y dependen, normalmente, de la evaporación del agua o algún disolvente para desarrollar su capacidad de mantener las partículas sólidas unidas. Un caso especial de aglutinante de este tipo lo constituye la mezcla del material a briquetear con un líquido en el cual es soluble. El agua es uno de los mejores y más conocidos aglutinantes de este tipo, también pueden incluirse en este grupo almidones y lignosulfonatos. La actuación de los aglutinantes tipomatriz está basada en el recubrimiento de las partículas sólidas por una fase continua de aglutinante. En algunos casos el aglutinante puede ocupar alrededor del 10 % del volumen total de la briqueta y rellena los huecos existentes entre las partículas, creando puentes sólidos, e incluso penetrando en los poros del material reduciendo la porosidad y el área superficial accesible (Contreras, 2015).

Los aglutinantes de tipo químico actúan mediante reacciones químicas de condensación y entrecruzamiento producidas entre los diferentes componentes de la mezcla de aglutinantes o con los materiales a procesar. Estas reacciones suelen producir aglomerados con una resistencia elevada e incluso crean uniones resistentes al agua. Entre los aglutinantes de este

grupo pueden citarse: los ácidos minerales solos o en presencia de otros aglutinantes y las melazas mezcladas con hidróxido de calcio.

## 1.5 Aglutinantes de la industria azucarera

### 1.5.1 Bagazo

El término “bagazo” se refiere al residuo fibroso resultante de la extracción de jugo de una fruta o planta, el bagazo de caña de azúcar es un material leñoso, consiste en un residuo fibroso obtenido del prensado y extracción de los jugos de la caña, formado mayoritariamente de agua, fibra celulosa y pequeñas cantidades de sólidos solubles. La combustión de este se encuentra alrededor de 2200 a 3300 kcal/kg y su composición variará dependiendo del tipo de caña, su madurez, método de cosecha y la eficiencia del ingenio (Colectivo de Autores, 1986).

**Tabla 1.2.** Composición normal del bagazo. (Ver Anexo A)

Composición	Rango (porcentaje)
Humedad	46-52
Fibra celulosa	43-52
Sólidos solubles	2-6

**Fuente:** (Colectivo de Autores, 1986); (Hugot, 1963).

En las fábricas de azúcar se emplea el bagazo de la caña como combustible en las calderas que generan el vapor que necesitan las turbinas para el accionamiento de generadores eléctricos, molinos de trapiches, bombas centrífugas, ventiladores, etc., y el vapor de escape se destina a los procesos de fabricación. Las presiones y temperaturas del vapor generado en estas calderas son relativamente bajas pero suficientes para lograr un equilibrio energético entre fuerza motriz y vapor para procesos (Mendoza, 2005).

Con calderas de presión y temperatura de vapor más altas y mejor rendimiento se puede accionar una turbina con un generador eléctrico de mayor potencia, que cubre las necesidades propias de la fábrica y queda un importante excedente que se podría vender a la red de distribución pública sin que haya incremento de costos en combustible. Esta energía eléctrica generada por un combustible renovable, que se entregaría a la red de distribución pública, reemplazaría a la generada en centrales térmicas que consumen

combustibles fósiles, con un impacto ambiental favorable. En este artículo se muestra la factibilidad técnica de lograrlo y se analizan criterios de optimización y de asignación de precio (Mendoza, 2005).

Con el bagazo se suplen las necesidades energéticas de los centrales en época de zafra, e incluso aportando energía eléctrica a la red comercial, constituyendo la caña el único cultivo con estas capacidades de producción de energía. Los centrales cubanos más avanzados tecnológicamente están diseñados para operar a presión de vapor de 400 lb/pulg<sup>2</sup>, y entregar cada zafra de 40 a 50 mil toneladas de bagazo y 7 a 8 mil MW por hora de electricidad excedente. También el bagazo es una buena materia prima para la producción de tableros aglomerados, pulpa de celulosa para papel y otros usos (Sorg, 2006).

La composición granulométrica del bagazo depende de la variedad de la caña y en gran medida del esquema de preparación y molienda de la misma en la fábrica de azúcar, e incluso del grado de desgaste que sufren los equipos que realizan estas operaciones a lo largo de la zafra. El bagacillo es la fracción más fina que resulta de tamizar el bagazo o cuando se desmedula antes de enviarlo a la fábrica de tableros (Colectivo de Autores, 2007).

La mezcla de bagacillo, miel y urea se emplea en Cuba con buenos resultados para la alimentación animal. Se le puede adicionar también hidróxido de sodio o cal (hidróxido de calcio) para el aumento de la digestibilidad del producto desde un 30 a un 35 % hasta valores cercanos al 60 % (Ríos, 2015). Hasta ahora se conoce que el bagacillo como parte del bagazo suele ser compactado en grandes pacas también llamadas briquetas de forma que facilite su manipulación y transportación, sin embargo se conoce poco sobre su utilización en la elaboración de briquetas de carbón vegetal.

### **1.5.2 Cachaza**

La cachaza es una masa de espuma e impurezas que quedan como sedimento en los filtros de guarapo, y constituye un excelente fertilizante para el mejoramiento de los suelos. Se emplea sola o mezclada con las cenizas de la quema de bagazo (Corredor, 2012).

**Tabla 1.3.** Composición aproximada de la cachaza. (Ver Anexo A)

Composición	Base seca (%)	Producto húmedo (%)
Proteína cruda	12-16	3-4
Extracto al benceno	10-14	2,5-3,5
Cenizas	8-12	2-3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3-5	0,6-1,3
CaO	2,2-5	0,5-3,5
Sacarosa y azúcares reductores	10-14	2,5-3,5
Meollo de caña	18-25	4,5-6,25
Otros	25-35	6,2-8,7

**Fuente:** (Colectivo de Autores, 1986).

La cachaza se puede definir teóricamente como el residuo en forma de torta; el residuo que se obtienen por sedimentación del jugo suspendido, en una gran cantidad de líquido y que luego se somete a filtración, se le denomina cachaza primaria y cachaza final, la que se descarga de los filtros para ser desechado. En las distintas bibliografías consultadas se propone que la cachaza se añada en un 10 a un 20 % en la composición de la briqueta, aunque en la mayoría de las situaciones las briquetas elaboradas a partir de cachaza no ofrecen muy buena resistencia a impacto ya la compresión (Cancio-Bello, 2007).

### 1.5.3 Miel final

La miel final o melaza es un producto líquido espeso derivado de la caña de azúcar y en menor medida de la remolacha azucarera, obtenido del residuo restante en las cubas de extracción de los azúcares. Nutricionalmente presenta un altísimo contenido en hidratos de carbono además de vitaminas del grupo B y abundantes minerales, entre los que destacan el hierro, cobre y magnesio, su contenido de agua es bajo (Colectivo de Autores, 1986).

**Tabla1.4.** Composición media de las mieles de caña. (Ver Anexo A)

Composición	Rango (%)
Agua	16
Sacarosa	35
Glucosa	10
Fructuosa	10
Reductores infermentables	4
Cenizas	9.5

Sustancias gomosas y coloidales	8
Cloruros	2
Otros	5

**Fuente:** (Colectivo de Autores 1986).

Para obtener la miel final melaza de caña, básicamente la técnica consiste en la concentración del jugo obtenido directamente de la molturación de la caña de azúcar, sometido luego a un proceso de inversión ácida y evaporación al vacío, es decir, mediante la molienda de la gramínea utilizando unos rodillos o mazas que la comprimen fuertemente, obteniendo un jugo que después se cocina a fuego directo para evaporar el agua y obtener su concentración (Corredor, 2012).

Durante la evaporación del agua salen hasta la superficie las impurezas que contienen este jugo. Hay que sacar toda esa impureza, llamada cachaza, para que resulte una melaza clara, transparente y homogénea, El desecho sobrante puede servir de materia prima para fermentaciones. El producto final tiene una textura parecida a la miel de abeja y de sabor muy agradable. Según los expertos, cuanto más oscura sea, más sabor y nutrientes tendrá. La fuente más difundida de empleo de carbohidratos solubles en la alimentación animal es el uso de la miel final. Generalmente, la melaza es relacionada como un suplemento energético para la alimentación de ganado por su alto contenido de azúcares y su bajo costo (Casas, 2010).

La melaza también puede utilizarse en la alimentación humana, empleándola como ingrediente culinario. Contiene proteínas, vitaminas del grupo B y minerales: hierro, calcio, magnesio, sodio, potasio, manganeso, fósforo, zinc, boro, molibdeno, yodo, silicio, y vanadio. Es ideal para deportistas, niños, el combate de anemias, tratamiento de la fatiga o como suplemento dietético en pospartos. Son oligoelementos que activan y contribuyen a desarrollar el sistema glandular y enzimático, básico para alcanzar el metabolismo completo del cuerpo. Según diversos estudios, ayuda en la formación de los huesos y el crecimiento en la etapa infantil. La melaza constituye también la materia prima fundamental para producción de alcoholes y muchos otros derivados (Corredor, 2012). La miel final o melaza es considerada uno de los mejores aglutinantes en la elaboración de

briquetas de carbón vegetal, adicionándose de un 10 a un 20 % en la composición de las mismas con el propósito de minimizar el consumo de esta (Cancio-Bello, 2007).

## **1.6 Tipos de procesos para la fabricación de briquetas**

### **1.6.1 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 prensar en un molde 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 (Maldonado, 2015).

### **1.6.2 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 y, 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 briquetación. 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 % (Maldonado, 2015).

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 briqueta se resquebraja superficialmente al enfriarse, o puede producir una explosión que lanza la briqueta 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 (Maldonado, 2015).

### **1.6.3 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 % 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 (Maldonado, 2015).

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 y briqueteadora con resistencias eléctricas, esto ayuda a la autoaglomeración. Si a esto se le suma 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. En la confección de briquetas industriales se usan varias tecnologías de las que sobresalen los siguientes equipos:

- Briqueteadora de pistón (densificación por impacto): El funcionamiento se basa en el golpeteo de un pistón por medio de un volante de inercia sobre la biomasa, la presión de compactación alcanzada es de 50 a 100 MPa, con grados de humedad de la mezcla de hasta 15 y 17 % en base húmeda. La producción de briquetas con este tipo de equipos es de 200 a 1 500 kg/h, aunque existen equipos que procesan hasta 2 000 o 6 000 kg/h, obteniendo densidades entre 1 y 1,2 kg/dm<sup>3</sup>, el consumo de energía de esto equipos es aproximadamente de 20 a 60 W/kg (Maldonado, 2015).
- Briqueteadora de tornillo (densificación por extrusión): Es un sistema basado en la presión ejercida sobre la biomasa por un tornillo sin fin especial, de aleaciones de cromo níquel o de carburo de tungsteno, que gira con velocidad variable, haciendo

avanzar el producto hasta una cámara que se estrecha progresivamente en forma cónica. Algunos de estos modelos disponen de una camisa térmica (manto caliente) para regular la temperatura y favorecer la plastificación. La producción de briquetas con estos equipos es del orden de 500 a 2 500 kg/h, con humedades menores al 10 % y densidades que oscilan entre 1 a 1.3 kg/dm<sup>3</sup>. Pero, en modelos que cuentan con calefacción forzada que favorece la plastificación de la lignina, se puede trabajar con porcentajes de hasta el 12 al 14 %. El consumo de energía es de 50 a 65 W/kg (Maldonado, 2015).

- Briquetadora hidráulicas y neumáticas: La presión en estas máquinas es a través de varios pistones (1, 2, o 3), que son accionados mediante sistemas hidráulicos o neumáticos. Se utilizan con frecuencia con residuos de muy mala calidad como el algodón, papel, aserrín húmedo, entre otros, cuando no se requiere gran calidad de la briqueta, o solo se necesita reducir espacio ocupado por los residuos. Las presiones alcanzadas de estos equipos son pequeñas de 200, 400 o 600 kg/cm<sup>2</sup>. El costo de producción es bajo y el volumen producido es de 50 hasta 5 000 kg/h con densidades de 0,7 a 0,8 kg/dm<sup>3</sup> o, en ocasiones, hasta 0,9 a 1,0 kg/dm<sup>3</sup>. La energía que consumen estos equipos es de 40 a 120 W/kg (Maldonado, 2015).

### **1.7 Aspectos económicos de la fabricación de briquetas**

El costo de la fabricación de briquetas depende fundamentalmente de tres factores: el costo de la carbonilla fina entregada lista para ser procesada, el costo del adhesivo y los costos de capital. Las carbonillas que normalmente tienen poco valor, para justificar la inversión en una planta de briquetas son tratadas con un valor cero. Ello sin embargo no es cierto porque para abastecer la plancha con carbonilla desde su fuente, alta cercana, se gasta dinero. Si no toda la carbonilla deriva de recuperaciones manejadas por la industria de briquetas, se hallará que el precio de la carbonilla aumenta regularmente apenas las briquetas aparecen en el mercado. El adhesivo preferido es el almidón, que es un alimento que cuesta alrededor de diez o más veces el costo del carbón vegetal bruto en trozos al costado del horno. Por lo tanto, ya que se necesita agregar del cuatro al ocho % a la carbonilla, para hacer las briquetas de almidón resulta ser un rubro muy importante de costo; así como también lo es la melaza. Las fabricaciones exitosas de briquetas, como las que funcionan en los Estados

Unidos y en otros países desarrollados, dependen de la coincidencia favorable de factores que generalmente no se presentan en los países en vía de desarrollo, y que son:

- Un mercado establecido para combustible casero tipo parrillada de alto precio. Capacidad de producir carbonilla fina para briquetas a un costo muy bajo, cerca de los principales mercados y en volúmenes estables durante todo el año.
- Un volumen elevado de ventas apropiado para absorber la producción potencial de la planta.
- Suficiente capital para buen equipo y mano de obra hábil para el funcionamiento y la manutención.
- Un método adecuado de mercadeo, empaque y de distribución que permita al producto alcanzar adecuada penetración en el mercado a precios satisfactorios.
- Se puede decir en general, y esto está respaldado por la falta de fabricación exitosa en el mundo en desarrollo que, es mejor concentrar la atención en la producción eficiente de carbón vegetal a partir de la leña esforzándose en obtener el máximo rendimiento de la conversión y una mínima generación de carbonilla, manipulando correctamente el producto. Además, la producción que usa sencillas carboneras de ladrillo, pide pocas componentes de importación, mientras que las maquinarias para hacer briquetas son normalmente rubros importados costosos. Los costos de capital se transforman en un drenaje de la rentabilidad, a menos que se pueda mantener la planta de briquetas funcionando todo el año y en plena capacidad de producción (FAO, 1983).

Para realizar una evaluación económica a las briquetas fabricadas de forma experimental se tuvo en cuenta los Indicadores dinámicos de rentabilidad que son el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Recuperación (TIR), siendo el más importante la Relación de Valor Actual Neto (RVAN).

La Relación de valor actual neto (RVAN) se calcula de la siguiente manera:  $RVAN = VAN / CAI$ , siendo el CAI el Costo Actualizado de la Inversión. El RVAN representa el \$ de Valor Actual Neto que produce el proyecto por cada \$ de inversión. Entre proyectos excluyentes se selecciona el de mayor RVAN.

## **1.8 Estado actual del mercado nivel internacional**

En la actualidad existe un mercado amplio y en expansión para este producto en la Unión Europea, Estados Unidos y Asia. Los mayores importadores a nivel mundial son China, Corea, Japón, Estados Unidos, Francia, Alemania, España e Italia; quienes lo utilizan de manera industrial, en restaurantes y cafeterías o para uso doméstico en sustitución de combustibles. En el 2015 se produjo en el mundo un total de 53 millones de toneladas de carbón vegetal, con un aumento del 13 % en el periodo 2010 - 2015. África y América Latina fueron las regiones que impulsaron este crecimiento, y se espera que la producción global alcance los 7 000 millones de toneladas en el 2030. Como consecuencia de las grandes producciones de carbón vegetal se obtienen grandes cantidades de residuos los cuales son utilizados para la elaboración de las briquetas. A continuación se describe brevemente el comportamiento de la producción, tanto del carbón vegetal como de briquetas en algunos países.

### Argentina

La producción de carbón vegetal en la República Argentina se basa totalmente en maderas de especies latifoliadas, provenientes, aproximadamente, en un 88 % y un 12 % de bosques nativos y de bosques de cultivo, respectivamente. La producción de briquetas es un proceso industrial que utiliza como materia prima una mezcla de “finos”, es decir polvo de carbón vegetal, ligados con aglutinantes orgánicos derivados de los cereales. Esta mezcla pasa a una prensa industrial donde se conforman las briquetas; se las seca, y posteriormente pasan a tolvas pesadoras para su envasado. Los procesos de prensado pueden ser por extrusión, que es el común de los procesos en los Estados Unidos, o de prensa continua, desarrollado en Asia por los japoneses. Este producto, de acuerdo con sus fabricantes, es de combustión uniforme y con mayor valor calórico que el carbón vegetal, por su menor contenido de humedad (Alma, 2014).

### Perú

Briquetas Corinay (Corporación Industrial Nanay S.A.C. - CORINAY) es una empresa industrial productora, comercializadora y exportadora de briquetas de aserrín, constituida en el año 2007 con el fin de aprovechar los residuos maderables del proceso de la industrialización de la madera. La empresa CORINAY está ubicada a orillas de la laguna

Rumococha en el río Nanay, Iquitos. Es la primera empresa en el Perú en la fabricación de briquetas (leña ecológica) en forma industrial con una capacidad instalada de 5 000 toneladas/año. El producto ofrecido es un combustible sólido compuesto solamente de aserrín y viruta de madera, fabricado a partir de un proceso de secado y comprimido a alta presión y libre de adhesivos químicos. Sustituye perfectamente a la leña evitando la deforestación de los bosques (Alma, 2014); (Inga, 2016).

### Ecuador

La empresa ecuatoriana Tysai S.A., se encuentra en constante desarrollo, cumpliendo con las normas y estándares internacionales de calidad, que garantizan la excelencia de sus productos, y la satisfacción de las necesidades de los consumidores. Para optimizar los recursos disponibles ha desarrollado procesos de producción innovadores, y ha promovido, ejecutado e instalado una fábrica de carbón vegetal en briquetas, utilizando como materia prima las cáscaras desechadas de la nuez de palma africana que proviene del proceso de la planta de nuez de palmisteria. El producto final obtenido, son las briquetas de carbón vegetal usado para parrilladas y barbacoas, que posee incomparables características energéticas, y que por sus características se convierte en un producto amigable con el medio ambiente, porque su utilización, ayuda a disminuir la tala de bosques destinados a la producción de carbón vegetal (Alma, 2014).

### Colombia

En el corregimiento de Nabusimake, municipio de Pueblo Bello del Departamento del Cesar se ha diseñado un prototipo de briqueta ecológica a partir de biomasa vegetal deshidratada para la generación de energía calórica y mejoramiento de ecosistemas. Después de seleccionado los materiales y determinado su proporción para las briquetas experimentales, estos se muelen para que la granulometría sea homogénea, seguidamente se mezclan cada uno de ellos de acuerdo a las proporciones y porcentajes previamente establecidos, luego se procede a aplicar el aglomerante natural gradualmente hasta obtener una masa homogénea y pastosa la cual es prensada y a continuación un proceso de secado para el cual se utilizó una Marquesina que funciona como un secador solar tipo modular, en esta estructura se aprovecha las condiciones climáticas de la zona que se caracteriza por una temperatura entre los 15 °C y 17 °C y precipitación de 2 646 mm al año, con una altura de 2

600 mm. El tiempo de secado de 4 días, pero si se proyecta la producción de briquetas industrialmente se aconseja utilizar el secado mecánico, ya que optimiza el proceso de deshidratación en cuanto al tiempo de duración y el volumen productivo de la empresa (Alma, 2014).

### Paraguay

Molinos El País S.A es una empresa paraguaya dedicada principalmente a la fabricación de arroz blanco. Entre los productos que ofrece se tiene las briquetas elaboradas a base de cascarilla de arroz (briquetas de cáscara de arroz "El País"). La briqueta llegó para auxiliar a la naturaleza; 1 000 kilos de briquetas corresponden a 3 árboles adultos. Además las cenizas pueden ser utilizadas en huertas, jardines, jarrones con flores, etc. La briqueta tiene mayores condiciones en relación a otros combustibles y se encuadra a las normas ISO 14 000, pues su extracción no degrada el medio ambiente. Las briquetas consisten en la compactación de las cáscaras del arroz a través de una prensa. El volumen de las cascarillas sueltas se comprime de 10 a 1 aproximadamente, formándose así las briquetas. Según estudios realizados las briquetas alcanzan energías caloríficas de hasta tres veces más que la leña vegetal (Alma, 2014).

### España

Briec (COVAERSA: es la primera empresa a nivel mundial en fabricar y patentar briquetas de cáscara de almendra en su factoría de Crevillente (Alicante), España. Covaersa desarrolla, a través de la marca Briec, la fabricación, venta y distribución de briquetas de cáscara de almendra. Las briquetas Briec se diferencian del resto de biomásas de una manera altamente destacada. Covaersa trata la biomasa con tecnología y personal altamente calificado para la elaboración de sus briquetas Briec. Las briquetas Briec son bloques sólidos y consistentes compuestos de cáscara de almendra compactada sin aditivo alguno, poseen una alta densidad, sus dimensiones aproximadas de 24 x 8 x 11 cm y tienen un grado muy bajo de humedad (Alma, 2014).

### **1.9 Experiencias de fabricación de briquetas a nivel nacional**

La briqueta, para poder comercializarla, tiene que cumplir normas muy estrictas como llevar más de un 60 % de carbono fijo, por eso, se desechan aquellas partículas que están por debajo de los cinco milímetros. Su proceso es un poco más complejo, porque requiere

también de lo que se denomina aglutinante, que puede ser harina vegetal o almidón de yuca, que es el que más se utiliza, finalmente, se envasa en formatos pequeños de tres a cinco kilogramos, o grandes de 15 como el carbón (Herrera, 2017).

En estos momentos en Cuba, para estabilizar la producción de briquetas y su consiguiente exportación, se debe potenciar la siembra de la yuca para el almidón, e instalar un laboratorio que permita certificar la calidad del producto terminado. Sin duda alguna, las briquetas de carbón vegetal ganan cada vez más espacios como un rubro exportable, cuyas utilidades superan con creces los costos de producción, por ese motivo, otras empresas y entidades tuneras también apuestan por esta actividad (Herrera, 2017). En el municipio de Jobabo, las Tunas se encuentra la mayor planta de beneficio de carbón del país, con una capacidad para procesar diariamente 20 toneladas del producto, en esta planta se está produciendo en mayor o menor medida briquetas a partir de la carbonilla excedente y como aglutinante se emplea almidón de yuca (Tejas, 2016).

De indeseable, el marabú comienza a ser valorado como especie energética en Cuba, incluso se incluyeron proyectos para aprovechar esta biomasa en la Cartera de Oportunidades de Inversión Extranjera. Entre las 246 oportunidades, figuran inversiones de 4,1 millones de dólares para producir anualmente de forma industrial y a partir de marabú 3000 toneladas métricas de carbón vegetal, 2 600 toneladas métricas de carbón activado y 1 050 toneladas métricas de briquetas (bloque sólido combustible, totalmente ecológico) (González, 2014).

## **Capítulo II: Procedimientos para fabricar y evaluar las propiedades fisicoquímicas de las briquetas de carbón vegetal.**

### **2.1 Carbón y briquetas en Cienfuegos**

En la actualidad la producción de carbón vegetal se realiza de forma tradicional, en las áreas infectadas con marabú se cortan de forma manual las plantas y se preparan hornos artesanales que son custodiados todo el tiempo de su quemado para después envasarlo en sacos de variado tamaño. Se trasladan a un centro de acopio donde se selecciona de forma manual y se envasa para la exportación en sacos de 20 kg. Estos centros reciben los contenedores que son cargados y trasladados al puerto. Aquí se produce una pérdida de un 10 % de carbonilla que no se puede exportar y se convierte en un residuo indeseable. Este formato de 20 kg para el envase se considera materia prima para la exportación, ya que los importadores de otros países tienen que darle el beneficio que se requiere para envases de pequeño formato para abastecer los mercados minoristas. Es aquí donde el productor pierde la posibilidad de lograr este valor agregado. En estas condiciones las exportaciones logradas en el territorio están muy lejanas de las potencialidades (González, 2016).

#### **2.1.1 Exportaciones de los últimos años**

Desde el año 2003 las empresas forestales del Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña (GEAM) iniciaron las exportaciones de carbón, a partir del marabú y otras leñas. Desde entonces, el trabajo de las empresas que pertenecían al extinto Grupo Empresarial Frutícola se ha venido consolidando, superando las 43 200 toneladas al cierre de diciembre 2015, pero en todos los casos se ha entregado en envases de 20 kg como materia prima para el mercadeo internacional. La exportación de carbón, enmarcando el análisis en el período 2012 - 2015 como se observa en la Tabla 2.1 ha mostrado un incremento sustancial. Este incremento está dado fundamentalmente por la aceptación del carbón vegetal proveniente del marabú en el mercado internacional debido a su calidad y competitividad, mostrándose además incrementos en los precios de hasta un 3 % del año 2015 con respecto al año 2012 (González, 2016).



**Tabla 2.1.** Exportación de carbón vegetal del Grupo Empresarial Frutícola.

Totales	2012	2013	2014	2015
Cantidad (ton)	30 316,3	36 616,8	39 414,1	43 200,0
Valor (CUC)	9 316,7	11 450,9	12 380,9	14 640,5
Precio (CUC/ton)	307,31	312,72	314,12	338,9

**Fuente:** (González, 2016).

La dirección de exportaciones del MINAGRI ha registrado incrementos significativos en los últimos años. Se ha considerado por su carácter estratégico la no divulgación de las cifras. El estudio de mercado realizado por la UEB para adquirir el carbón producido en el territorio central por: brigadas del EJT, campesinos vinculados a CCS, brigadas de la empresa forestal y obreros cuentapropistas, ofrece una cifra estimada superior a las 12 mil toneladas de carbón producido por la tecnología artesanal tradicional que garantiza su calidad como orgánico y producido a partir de marabú (González, 2016).

En la actualidad no se cuenta con el financiamiento necesario para introducir una industria que seleccione y empaque en otros formatos, es por ello que existe la necesidad de vincularse con el capital extranjero para la modernización de la producción de carbón, con la nueva tecnología se pretende un máximo aprovechamiento la materia prima. Para obtener los pronósticos de producción se tiene en cuenta que la provincia cuenta con marabú suficiente como para duplicar la producción, así como las mejoras de las condiciones de trabajo (con la entrega de insumos a los productores) que son los que garantizan la materia prima (González, 2016).

El proceso de producción, beneficio y comercialización del carbón, no se emplea agua, la carbonilla resultante del proceso es reutilizada en la producción de briquetas. Los desechos reciclables que se generan en el proceso productivo son los aceites usados producto de los mantenimientos, estos desechos se reciclan a través de las empresas CUPET y Empresa de Recuperación de Materias Primas, lo que debe ser debidamente contratado en correspondencia con lo establecido en la Ley 1288/75 Ley de Materia Prima y su reglamento; y la Resolución No 136/09 del CITMA. Además como resultado del proceso se limpian áreas infestadas de marabú para el fomento de plantaciones con manejo intensivo (González, 2016).

Actualmente en la provincia se está diseñando un proyecto debido a la necesidad de dotar de mejores herramientas y accesorios a los productores directos y la instalación de dos líneas, dos de beneficio y embalaje de carbón en pequeño formato y otra productora de briquetas, esta última permitirá el aprovechamiento de todos los residuos de la producción, ambas posibilitarán un aumento sustancial de la producción y la calidad de la misma, la cual estará destinada básicamente a la exportación, y para ello es necesario un estudio que facilite conocer los mejores aglutinantes con que cuenta la provincia así como la mejor composición de las briquetas en función de las características del carbón que se produce y de los aditivos a adicionar (González, 2016).

También se justifica por la necesidad de aprovechar la experiencia existente en la producción de carbón vegetal para la exportación, lo que será humanizado a partir de las tecnologías existentes en el mercado, a las que se pueden acceder a partir de fuentes de financiamiento factibles. El proyecto está previsto para 11 años de operaciones. El primer año para la inversión, en el segundo producción y aumento de capacidad, en total diez de explotación, con inversión extranjera, en la modalidad de contrato de administración. Es un proyecto que podrá diversificarse en otras entidades productivas comercializadoras de la red del Grupo Empresarial Agrícola. El mayor o menor alcance estará dado por el factor clave de éxito: lograr incorporar una parte extranjera que asegure el éxito financiero-comercial y que garantice el acceso a la administración productiva y comercial, los aseguramientos fundamentales de compra externa, el mercado y las gestiones desde el beneficio hasta la venta (González, 2016).

## **2.2 Balance de masa para la carbonilla**

A partir de los datos sobre las exportaciones del Grupo Empresarial Frutícola para el año 2015 se puede obtener por balance de masa la carbonilla excedente que puede ser aprovechada para la elaboración de briquetas, tomando como base de cálculo un año se obtiene que:

Datos:

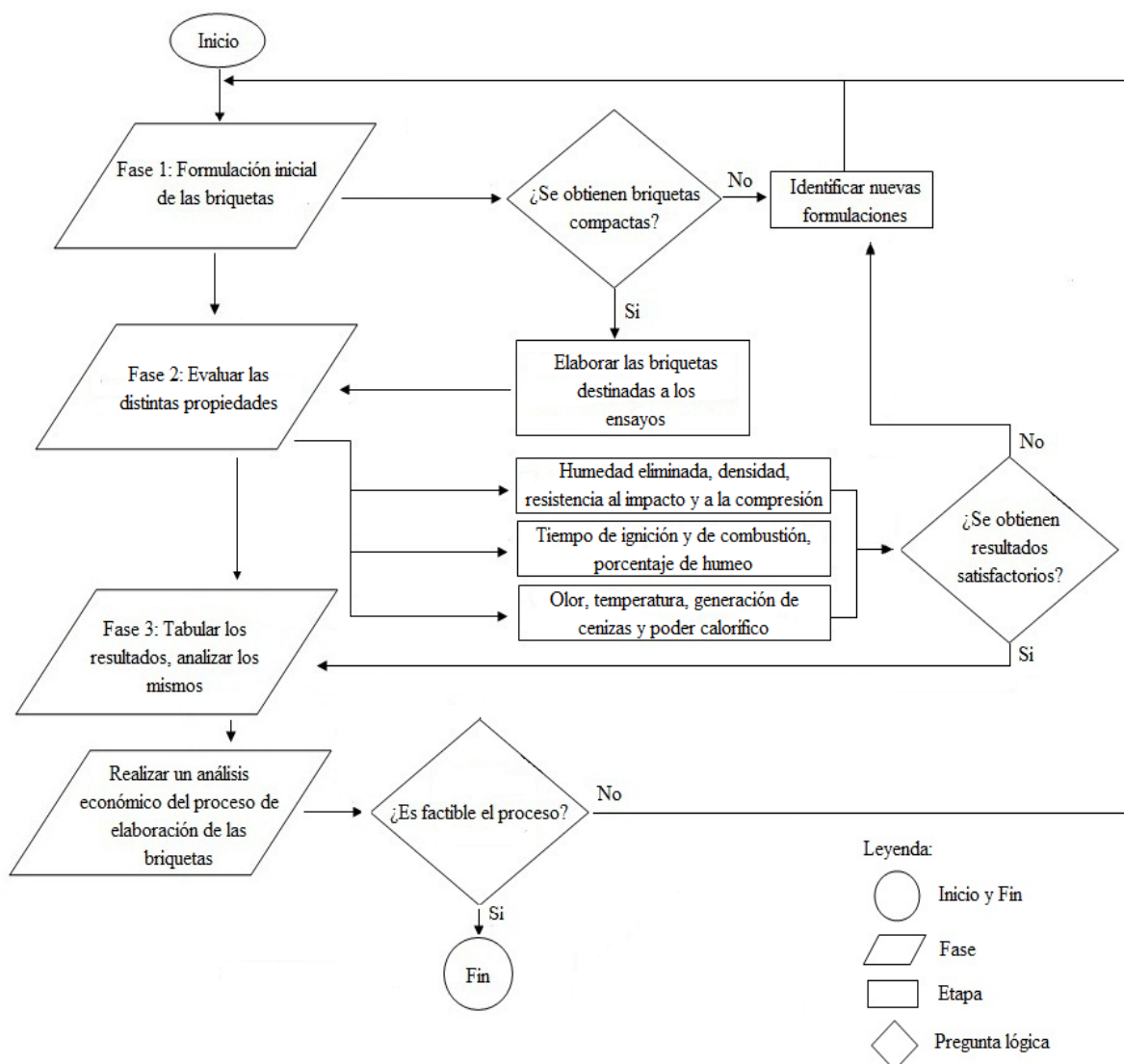
Carbón exportado (C): 43 200,0 ton

Carbonilla producida (CP): 10% C

$$CP = 10 \% C = 0,10 * 43\ 200,0 \text{ ton} = 4\ 320 \text{ ton}$$

Con este análisis se demuestra que la entidad cuenta con una cantidad de 4 320 toneladas de carbonilla al año que no es aprovechable.

### 2.3 Procedimiento para la evaluación de las propiedades físicoquímicas de briquetas



**Figura 2.1.** Diagrama de proceso para evaluar las propiedades físico química de briquetas.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.4 Diseño de experimento para evaluar las propiedades de las briquetas

Para la evaluación de las propiedades mencionadas anteriormente se despliega un diseño de experimentos cuyas características se muestran en lo que resta del este capítulo:

## **Recursos humanos disponibles**

Asesoría técnica y profesional por parte de:

- Ms.C Elisa María Chou Rodríguez
- Dr.C. Fernando Efrén Ramos Miranda
- Lic. Ramón Agustín Pino Pichs

## **Materiales disponibles**

- Materias primas: carbonilla y residuos de la industria azucarera: bagacillo, cachaza y miel final o melaza.
- Cera.
- Tamiz de laboratorio.
- Molino de bolas.
- Balanza analítica.
- Cristalería disponible en el laboratorio de Química de la Universidad de Cienfuegos: pipetas, vidrio reloj, espátula, etc.
- Termómetro.
- Hornilla de carbón.

## **Variables**

- **Independientes**
- ✓ Composición.

**Nota:** En la composición de las briquetas se varía las cantidades añadidas en dependencia de los requerimientos a la hora de la elaboración.

- **Dependientes**
- ✓ Humedad eliminada.
- ✓ Densidad.
- ✓ Resistencia al impacto.
- ✓ Resistencia a la compresión.

- ✓ Tiempo de ignición.
- ✓ Tiempo de combustión.
- ✓ Porcentaje de humeo.
- ✓ Olor.
- ✓ Temperatura en la superficie.
- ✓ Generación de cenizas.
- ✓ Valor calórico.

Las composiciones relacionadas en las pruebas, se basan en estudios precedentes tanto a nivel nacional como internacional. A continuación se tabulan las fórmulas a utilizar en la composición de las briquetas.

**Tabla 2.2.** Fórmulas utilizadas en la elaboración de las briquetas.

Carbón (%)	Bagacillo (%)	Agua (%)
70	20	10
65	15	20
60	10	30
Carbón (%)	Cachaza (%)	Agua (%)
70	20	10
65	15	20
60	10	30
Carbón (%)	Melaza (%)	Agua (%)
70	20	10
65	15	20
60	10	30
Carbón (%)	Melaza (%)	Agua (%)
60	20	20
70	10	20

**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación se muestran las cantidades en gramos de los componentes añadidos para la elaboración de las briquetas:

**Tabla 2.3.** Cantidades añadidas en las composiciones de las briquetas para las tres primeras pruebas.

Composición	Carbonilla (g)	Aglutinante (g)	Agua(g)	Masa total (g)
70-20-10	220	62,80	31,40	314
65-10-20	220	33,80	67,60	338
60-10-30	220	36,60	109,80	366

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 2.4.** Cantidades añadidas en las composiciones de las briquetas para la última prueba.

Composición	Carbonilla (g)	Aglutinante (g)	Agua(g)	Masa total (g)
60-20-20	220	73,20	73,20	366
65-15-20	220	50,76	67,60	338
70-10-20	220	31,40	62,80	314

**Fuente:** Elaboración propia.

A partir de estas formulaciones se comienzan a elaborar las briquetas objetos de estudio. Seguidamente se describen las técnicas empleadas para evaluar las propiedades fisicoquímicas de las mismas.

#### 2.4.1 Técnicas a utilizar

- Humedad eliminada (H): medir la humedad porcentual eliminada de las briquetas, por medio del cálculo de pérdida de peso (Normas IRAM 17.005 carbones y coque, 2005)

$$\%H = \frac{\text{Peso}_{\text{húmedo}} - \text{Peso}_{\text{seco}}}{\text{Peso}_{\text{húmedo}}} * 100$$

1. Densidad: se utiliza el llamado método de desplazamiento de agua que consiste en pasar una determinada cantidad de briquetas y embutirlas en silicona, si el peso antes es p y el peso cuando están embutidas en silicona es t, el peso de la silicona será t-p. A continuación, se introducen en el agua y se mide el volumen de agua desplazada. La densidad de la biqueta de forma aproximada se obtiene por la fórmula:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

$\rho$  = densidad de la biqueta (kg/m<sup>3</sup>)

m = masa de la briqueta (kg)

V = volumen de la briqueta (m<sup>3</sup>)

2. Resistencia al impacto: Estos ensayos permiten fijar la resistencia de las briquetas a la caída entre cintas transportadoras tanto en los procesos de fabricación como en el transporte del producto acabado. Uno de los ensayos más utilizados consiste en determinar la máxima altura de caída, sobre una superficie plana y dura, de un grupo de cinco briquetas que se dejan caer individualmente. La resistencia se define como la altura desde que las cinco briquetas caen sin romperse. Otro ensayo análogo y muy utilizado es el llamado índice de resistencia al impacto (IRI), el cual consiste en dejar caer repetidas veces desde una altura determinada 2, las briquetas objeto de estudio. El cociente entre el promedio del número de caídas y el promedio del número de trozos formados, si hay rupturas, da una idea bastante aproximada de la resistencia de las briquetas, este método limita a 10 el máximo número de lanzamientos. Este ensayo se considera como el más útil para predecir la resistencia global de una briqueta, el mínimo IRI que se requiere para que las briquetas combustibles sean aceptables comercialmente es de 50 (Richards, 1990).

$$IRI = \sum_{i=1}^n \frac{n^0 \text{ veces } i}{n^0 \text{ trozos}} * 100$$

- Resistencia a la ruptura por compresión: Como ya se ha indicado las briquetas combustibles tienen que ser capaces de soportar las cargas de compresión deformante que se producen en su manejo, transporte, almacenamiento y combustión. El ensayo se realiza colocando una sola briqueta entre dos superficies planas paralelas, cargando la cara superior con una fuerza determinada que aumenta uniformemente hasta que ocurre la ruptura, en el caso de este estudio el mecanismo utilizado para determinar este punto es una prensa que posee un dispositivo capaz de medir la fuerza, (Richards, 1990) fija el valor mínimo de resistencia a la compresión en 0,350 MPa.
- Tiempo de ignición: se determina por la aparición de ceniza visible en la briqueta, y está definido como el tiempo en el cual existe 60 % a 80 % de formación de ceniza visible en la briqueta.

- Tiempo de combustión de las briquetas: combustionar diferentes muestras de briquetas y computar el tiempo en que se consumen completamente.
- Porcentaje de humeo: consistirá en observar y capturar fotográficamente la cantidad de humo generado o producido durante la combustión de las briquetas.
- Olor: en el caso de esta propiedad se aplica una escala que permita clasificar el olor desprendido por la combustión de las briquetas.

**Tabla 2.5.** Escala para determinar el comportamiento del olor en las briquetas elaboradas

Características del olor	Escala
Sin olor	0
Poco olor	1
Bastante olor	2
Olor intolerable	3

**Fuente:** Elaboración propia.

3. Temperatura (T): medir la temperatura de la llama y superficial de la briketa con el uso de un termómetro.
4. Generación de cenizas: se determina combustionando una muestra determinada de briquetas, de las cuales se conoce su masa total y luego de la combustión se pesa el residuo o sea las cenizas.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{G1}{G2} * 100$$

Donde:

G1: Peso del residuo de la combustión (g)

G2: Peso de la muestra (g)

5. Valor calórico: para obtener el valor del valor calórico, debido a que no se cuenta con la tecnología adecuada se decide implementar un medio elaborado por los miembros de la investigación que ofrezca un valor aproximado del valor calórico, para ello se procede hirviendo cierto volumen de agua a una temperatura determinada sobre una masa dispuesta de briquetas, calculando la transferencia de energía (Q) por la ecuación que aparece a continuación, luego el valor obtenido se



divide por la masa total de briquetas dispuesta obteniendo un aproximado del valor calórico que estas desprenden.

$$Q = m_o * Cp * \Delta T + m_f \lambda$$

Donde:

$m_o$ : masa inicial (kg)

$m_f$ : masa final (kg)

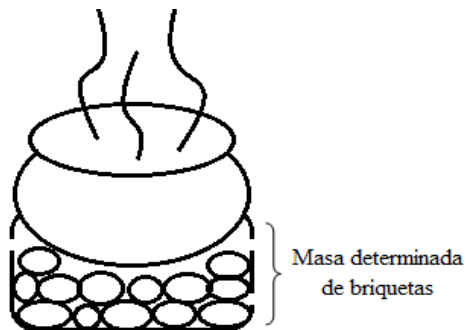
$Cp$ : Calor específico (kcal/kg °C)

$\Delta T$ : diferencia de temperatura (°C)

$\lambda$ : calor latente del agua (kcal/kg)

$Q$ : transferencia de energía en forma calorífica (kcal)

A continuación se muestra el mecanismo utilizado para determinar un aproximado del valor calórico, el cual consiste en un recipiente de barro con pequeños agujeros que posibilite la entrada y salida de aire y así beneficie la combustión de la masa de briquetas en su interior, sobre el mismo se coloca otro recipiente con una masa determinada de agua con el fin de hervirla. El objetivo es poder medir las variables que se necesitan para el cálculo de  $Q$ , en este caso es preciso saber el valor de la masa inicial y final del agua, así como la temperatura inicial y final de esta; también es necesario conocer la masa de briquetas dispuestas; el resto de los parámetros son valores que pueden ser obtenidos de libros de Ingeniería Química. Aclarar que el valor obtenido puede tener ciertas diferencias con el real pues no es posible controlar en su totalidad ciertos parámetros como es el caso de las pérdidas por convección y radiación.



**Figura 2.2.** Mecanismo utilizado para determinar el valor calórico.

**Fuente:** Elaboración propia.

Para el procesamiento de los datos se usa como herramienta matemática Microsoft Office Excel 2007, que es una aplicación para manejar hojas de cálculo, en la misma se tabulan todos los datos y los resultados obtenidos, permitiendo la elaboración de gráficos con el fin de comparar las propiedades evaluadas en dependencia de la composición de las briquetas.

## Capítulo III: Análisis de los resultados

Para la determinar la mejor formulación y evaluar las propiedades fisicoquímicas de briquetas a partir de carbón vegetal se fabricaron de forma manual briquetas a partir de la carbonilla procedente de la empresa Grupo Empresarial Frutícola y aglutinantes provenientes del CAI "14 de Julio".

### 3.1 Prueba de tamizado para la carbonilla:

La carbonilla proveniente del proceso de elaboración de carbón vegetal tiene aún un diámetro de partículas muy grande para la fabricación de las briquetas, por lo que se hace necesario triturar la misma, para ello se utiliza un molino de bolas con las siguientes características:

**Tabla 3.1.** Características del molino utilizado en la trituración de la carbonilla. (Ver Anexo B)

Tipo de Molino	Masas
Potencia	Monofásico 105 kW
Área	0,78 m <sup>2</sup>

**Fuente:** Ficha técnica del equipo.

A la carbonilla triturada, se le realiza una prueba de tamizado con el fin de saber el diámetro medio de partículas, dicha prueba se realiza en el laboratorio de la UEB Glucosa de Cienfuegos, en un tamiz el cual posee las siguientes características:

**Tabla 3.2.** Características técnicas del tamiz utilizado para la prueba de tamizado. (Ver Anexo C)

Modelo	J. Engelsmann AKT-GES
Tipo de tamiz	MeshTayler
Potencia	5.5 kW
Cantidad de tamices	4

**Fuente:** Ficha técnica del equipo.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la prueba de tamizado y el procesamiento de los mismos para obtener las características de la carbonilla utilizada.

**Tabla 3.3.** Resultados de la prueba de tamizado realizada a la carbonilla.

No. de Clase	Mesh Tayler	$m_i$	$x_i$	Dp (sup)	$Dp_i$	$X_i$	$Y_i$	$X_i/Dp_i$
1	4/28	403.351	0.457533	4.699	2.644	1.00000	0.000000	0.17305
2	28/80	364.464	0.424766	0.589	0.377	0.54247	0.457533	1.12670
3	80/100	99.01	0.112310	0.165	0.156	0.11770	0.882299	0.71994
4	100/150	4.753	0.005391	0.147	0.1255	0.00539	0.994609	0.04296
5	-150	0	0.000000	0.104	0.052	0.0000	1.000000	0.00000
Suma		881.578	1					2.06264

**Fuente:** Elaboración propia.

$$Dp = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{Dp_i}} = \frac{1}{2,06264055 \text{ mm}} = 0,48481554 \approx 0,48 \text{ mm}$$

### 3.2 Pruebas realizadas a las briquetas elaboradas

A partir de este acápite se exponen todos los resultados obtenidos de los ensayos prácticos realizados a escala de laboratorio a las briquetas elaboradas de forma manual.

**Tabla 3.4.** Prueba 1. Bagacillo. (Ver Anexo D)

Corrida	Carbón (%)	Bagacillo (%)	Agua (%)
1	70	20	10
2	65	15	20
3	60	10	30

**Fuente:** Elaboración propia.

Esta prueba demuestra a primera instancia que el bagacillo permite que la carbonilla triturada se aglomere mientras esté húmeda la briqueta; sin embargo luego de transcurrir el tiempo necesario de secado, se observa que la briqueta elaborada no es resistente al impacto, por tanto se descarta el bagacillo como único aglutinante.

**Tabla 3.5.** Prueba 2. Cachaza. (Ver Anexo D)

Corrida	Carbón (%)	Cachaza (%)	Agua (%)
1	70	20	10
2	65	15	20
3	60	10	30

**Fuente:** Elaboración propia.

Con la cachaza ocurre lo mismo que con el bagacillo, esta como el único aglutinante de la carbonilla, provoca después de secada la briqueta la ruptura ante situaciones de compresión y de impacto.

**Tabla 3.6.** Prueba 3. Miel final. (Ver Anexo D)

Corrida	Carbón (%)	Miel final (%)	Agua (%)
1	70	20	10
2	65	15	20
3	60	10	30

**Fuente:** Elaboración propia.

Al combinar estos porcentajes en la composición de la briqueta se observa que no se logra aglutinar los constituyentes, ya sea porque es necesaria más humedad o porque hay un exceso de esta. Sin embargo:

**Prueba 3.7.** Prueba 3 a). Miel final. (Ver Anexo D)

Corrida	Carbón (%)	Miel final (%)	Agua (%)
1	60	20	20
2	65	15	20
3	70	10	20

**Fuente:** Elaboración propia.

A diferencia de la prueba anterior las briquetas obtenidas si logran un nivel de compactación aceptable siendo resistente al impacto y a la compresión en ensayos superficiales, por tanto se toma estas combinaciones como referencia para las pruebas que suceden.

### 3.3 Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la briqueta elaboradas con miel final

#### 6. Corrida 1: 60 % de carbonilla triturada, 20 % de miel final, 20 % de agua

##### Humedad eliminada:

Tomando la ecuación planteada en el capítulo anterior para el cálculo de la pérdida de humedad se tiene que:

$$\%H = \frac{\text{Peso}_{\text{húmedo}} - \text{Peso}_{\text{seco}}}{\text{Peso}_{\text{húmedo}}} * 100$$

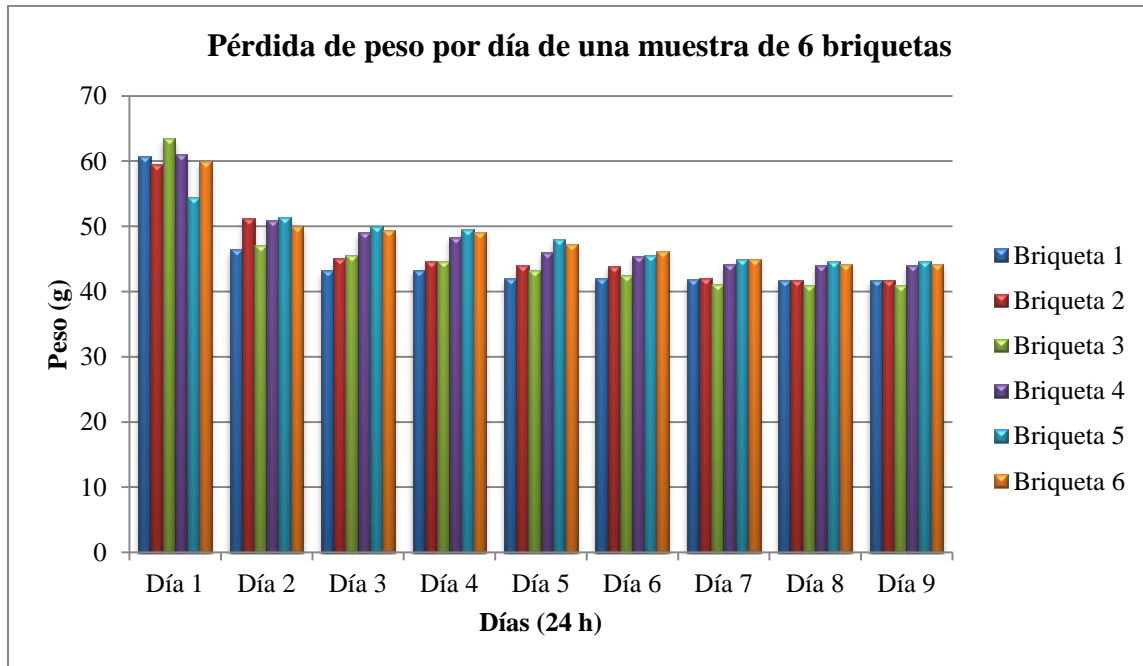
**Tabla 3.8.** Pérdida de peso en gramos de una muestra de seis briquetas de la Corrida

Briqueta	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	% H <sub>elim</sub>
1	60,7	46,5	43,22	43,3	42,02	42	41,9	41,83	41,82	31,10
2	59,6	51,2	45,03	44,6	44,02	43,9	42,1	41,83	41,83	29,82
3	63,5	47,1	45,6	44,7	43,3	42,5	41,12	40,93	40,93	35,54
4	61,1	51,01	49,1	48,4	46,03	45,5	44,2	43,97	43,96	28,05
5	54,5	51,5	50,05	49,6	48,02	45,6	44,92	44,73	44,72	17,94
6	59,9	50,05	49,45	49,1	47,3	46,2	45,01	44,21	44,21	26,19
Total									257,47	

**Fuente:** Elaboración propia

Promediando los valores del porcentaje perdido en los nueve días para cada briqueta se obtiene un valor de humedad eliminada de 28,11 %.

La figura que aparece a continuación muestra el peso por día de las seis briquetas elaboradas. El secado de las briquetas se lleva a cabo de forma natural para todas las corridas, estas se colocan después de conformadas en un espacio donde la temperatura ambiental se encuentra alrededor de los 27,5 °C, se comprueba que se mantiene el peso a partir del día 7, lo que demuestra que las briquetas logran secarse en el transcurso de siete días.



**Figura 3.1.** Pérdida de peso de una muestra de seis briquetas de la Corrida 1.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Densidad:**

Para la determinación de la densidad se dispone de una masa de agua de 200 ml equivalentes a  $0,000200 \text{ m}^3$ , en la que se coloca la briqueta # 4 cuyo peso seco es 43,96 g o sea 0,0496 kg, dicha briqueta ha sido embutida en cera de abejas por lo que esta desplaza alrededor de los 105 ml =  $0,000105 \text{ m}^3$ . Con estos valores se puede determinar entonces un aproximado de la densidad de la briqueta:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{0,04396}{0,000105} = 418,67 \text{ kg/m}^3$$

**Resistencia al impacto:**

Para este ensayo, como sugiere Richards, establece un número máximo de lanzamientos de 10, a una altura de dos metros. Como resultado se aprecia que la briqueta no se rompe en ninguna de las repeticiones realizadas. Por tanto:

$$IRI = \sum_{i=1}^n \frac{10}{1} * 100 = 1000$$

**Resistencia a la ruptura por compresión:**

El equipo utilizado midió 0,9 kN de fuerza necesaria para romper una briqueta, teniendo en cuenta que el área que ocupa la briqueta es de 0,00096 m<sup>2</sup>, se puede calcular entonces la presión necesaria para romper la briqueta.

$$P = \frac{0,9 \text{ kN}}{0,00096 \text{ m}^2} = 937,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,937 \text{ MPa}$$

**Tiempo de ignición:** 30 min

**Tiempo de combustión:** 2 horas y 15 minutos (135 min)

**% Humeo:** Prácticamente nulo.

**Olor:** por escala 0

Mencionar que en los primeros minutos de la combustión logra percibirse un agradable olor a guarapo de caña de azúcar.

**Temperatura:** > 300°C (en la llama); 200°C (en la superficie)

**Generación de cenizas:**

Para determinar la cantidad de cenizas generada por la combustión de las briquetas de procede a combustionar la masa total de las briquetas elaboradas (257,50 g), quedando finalmente un residuo de 18,30 g.

$$\% \text{Cenizas} = \frac{G1}{G2} * 100$$

$$\% \text{Cenizas} = \frac{18,30}{257,50} * 100 = 7,11\%$$

Es importante conocer que por experiencias en la industria azucarera las cenizas generadas por la quema de la miel final en contacto con el agua puede convertirse en un material compacto, por lo tanto estas deben ser colocadas en un lugar donde la humedad sea lo más cercana a 0.

**Valor calórico:**



En el capítulo anterior se describe el mecanismo utilizado para determinar aproximadamente el valor calórico de las briquetas. En la siguiente tabla se muestran los datos para el cálculo del valor calórico:

**Tabla 3.9.** Datos para la determinación del valor calórico para la Corrida 1.

Datos	Valor
Temperatura inicial del agua	30
Temperatura final del agua	100
Calor específico del agua (kcal/kg)	1
Calor latente del agua (kcal/kg)	539
Masa inicial de agua (kg)	0,6
Masa final de agua (kg)	0,530
Masa de briquetas (kg)	0.257

**Fuente:** Elaboración propia.

$$Q = 0,6 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} * 70 + 0,53 \text{ kg} * 539 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 327 \text{ kcal}$$

Luego este valor se divide entre la masa total de briquetas combustionadas:

$$\text{Poder calórico} = \frac{327,67 \text{ kcal}}{0,257 \text{ kg}} = 1274,98 \text{ kcal/kg}$$

## 7. Corrida 2: 65 % de carbonilla triturada, 15 % de miel final, 20 % de agua

### Humedad eliminada:

Se determina mediante el mismo procedimiento de la Corrida 1.

$$\%H = \frac{\text{Peso}_{\text{húmedo}} - \text{Peso}_{\text{seco}}}{\text{Peso}_{\text{húmedo}}} * 100$$

**Tabla 3.10.** Pérdida de peso de una muestra de seis briquetas de la Corrida 2.

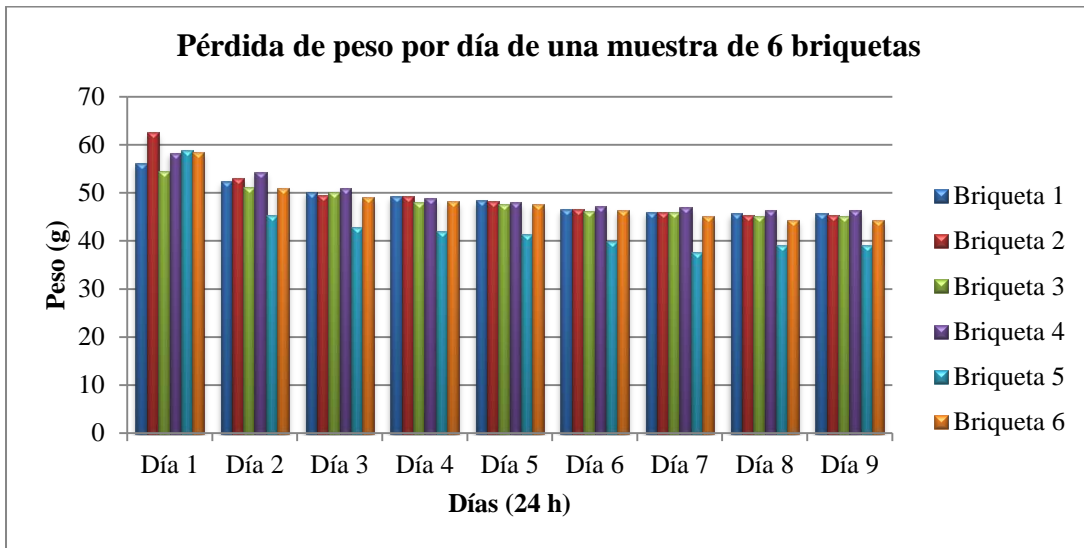
Briqueta	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	% H <sub>elim</sub>
1	56,16	52,3	50,16	49,3	48,4	46,5	46,05	45,76	45,76	18,52
2	62,5	53,1	49,6	49,2	48,2	46,6	45,9	45,37	45,36	27,42
3	54,5	51,2	50,08	48,02	47,5	46,2	45,81	45,18	45,17	17,12
4	58,3	54,3	50,8	48,86	48,01	47,2	46,95	46,34	46,34	20,51

5	58,9	45,3	42,76	42,01	41,38	40,01	37,66	39,13	39,12	33,58
6	58,5	51,02	48,94	48,2	47,6	46,3	45,2	44,35	44,35	24,19
Total									266,13	

**Fuente:** Elaboración propia

Se obtiene un valor promedio de humedad eliminada de 23,56 % para la composición 65 - 15 - 20.

La siguiente figura muestra el comportamiento del peso de las seis briquetas elaboradas por cada día de secado.



**Figura 3.2.** Pérdida de peso de una muestra de seis briquetas de la Corrida 2.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Densidad:**

A igual que en la corrida anterior se calcula la densidad con los siguientes datos:

Masa de la briqueta # 3: 45,17 g = 0,04517 kg

Masa de agua dispuesta: 200 ml = 0,000200 m<sup>3</sup>

Masa de agua desplazada: 105 ml = 0,000100 m<sup>3</sup>

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{0,04517}{0,000100} = 451,70 \text{ kg/m}^3$$

**Resistencia al impacto:**

Para este ensayo, como sugiere Richards, se establece un número máximo de lanzamientos de 10, a una altura de dos metros. Como resultado se aprecia que la briqueta no se rompe en ninguna de las repeticiones realizadas. Por tanto:

$$IRI = \sum_{i=1}^n \frac{10}{1} * 100 = 1000$$

**Resistencia a la ruptura por compresión:**

El equipo utilizado midió 0,95 kN de fuerza necesaria para romper una briqueta, teniendo en cuenta que el área que ocupa el pistón de dicho equipo es de 0,00096 m<sup>2</sup>, se puede calcular entonces la presión necesaria para romper la briqueta.

$$P = \frac{0,95 \text{ kN}}{0,00096 \text{ m}^2} = 989 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,989 \text{ MPa}$$

**Tiempo de ignición:** 25 min

**Tiempo de combustión:** 2 horas y 45 minutos (165 min)

**% Humeo:** Prácticamente nulo.

**Olor:** por escala 0

Mencionar que en los primeros minutos de la combustión logra percibirse un agradable olor a guarapo de caña de azúcar.

**Temperatura:** > 300°C (en la llama); 200 (en la superficie)

**Generación de cenizas:**

El porcentaje de ceniza se calcula a través de la ecuación del capítulo anterior:

Masa de briquetas combustionadas: 266,13 g

Masa del residuo (Cenizas): 20 g

$$\%Cenizas = \frac{G1}{G2} * 100$$

$$\%Cenizas = \frac{20}{266.13} * 100 = 7,51\%$$

**Valor calórico:**

En la Tabla 3.11 se muestran los datos utilizados para el cálculo de valor calórico de las briquetas elaboradas con 65 % de carbonilla triturada, 15 % de miel final, 20 % de agua:

**Tabla 3.11.**Datos para la determinación del valor calórico para la Corrida 1.

Datos	Valor
Temperatura inicial del agua	30
Temperatura final del agua	100
Calor específico del agua (kcal/kg)	1
Calor latente del agua (kcal/kg)	539
Masa inicial de agua (kg)	0,6
Masa final de agua (kg)	0,570
Masa de briquetas (kg)	0.257

**Fuente:** Elaboración propia.

$$Q = 0,6 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} * 70 + 0,57 \text{ kg} * 539 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 349,23 \text{ kcal}$$

Luego este valor se divide entre la masa total de briquetas combustionadas:

$$\text{Poder calórico} = \frac{349,23 \text{ kcal}}{0,266 \text{ kg}} = 1312,89 \text{ kcal/kg}$$

### 8. Corrida 3: 70 % de carbonilla triturada, 10 % de miel final, 20 % de agua

#### Humedad eliminada:

Se determina mediante el mismo procedimiento de las Corridas 1 y 2.

$$\%H = \frac{\text{Peso}_{\text{húmedo}} - \text{Peso}_{\text{seco}}}{\text{Peso}_{\text{húmedo}}} * 100$$

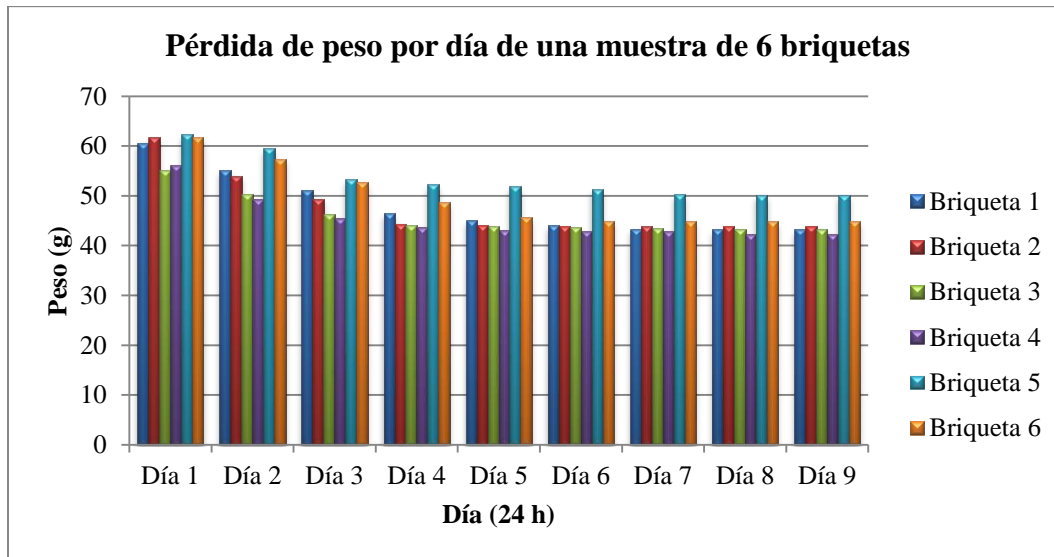
**Tabla 3.12.** Pérdida de peso de una muestra de seis briquetas de la Corrida 3.

Briqueta	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	% H <sub>elim</sub>
1	60,6	55,08	51,08	46,5	45,07	44,05	43,3	43,23	43,23	28,66
2	61,7	54,02	49,35	44,3	44,01	43,9	43,89	43,86	43,85	28,93
3	55,05	50,32	46,3	44	43,9	43,6	43,4	43,34	43,34	21,27
4	56,05	49,31	45,5	43,76	43	42,85	42,9	42,22	42,22	24,67
5	62,35	59,5	53,36	52,3	51,9	51,3	50,2	50,1	50,1	19,65
6	61,7	57,3	52,8	48,6	45,6	44,9	44,89	44,86	44,85	27,31
Total									267,59	

**Fuente:** Elaboración propia

Se obtiene un promedio de 25,08% de humedad eliminada para la composición 70-10-20.

La siguiente figura muestra el comportamiento del peso de las seis briquetas elaboradas por días de secado.



**Figura 3.3.** Pérdida de peso de una muestra de seis briquetas de la Corrida 3.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Densidad:**

Como en las corridas anteriores:

Masa de la briqueta: 43,43 g = 0,04343 kg

Masa de agua dispuesta: 200 ml = 0,000200 m<sup>3</sup>

Masa de agua desplazada: 105 ml = 0,000100 m<sup>3</sup>

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{0,04334}{0,000105} = 412,76 \text{ kg/m}^3$$

**Resistencia al impacto:**

Para este ensayo, como sugiere Richards, se establece un número máximo de lanzamientos de 10, a una altura de dos metros. Como resultado se aprecia que la briqueta al quinto lanzamiento se rompe en dos trozos. Por tanto:

$$IRI = \sum_{i=1}^n \frac{5}{2} * 100 = 250$$

**Resistencia a la ruptura por compresión:**

El equipo utilizado midió 0,9 kN de fuerza necesaria para romper una briqueta, teniendo en cuenta que el área que ocupa el pistón de dicho equipo es de 0,00096 m<sup>2</sup>, se puede calcular entonces la presión mínima necesaria para romper la briqueta.

$$P = \frac{0,7 \text{ kN}}{0,00096 \text{ m}^2} = 729,17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,729 \text{ MPa}$$

**Tiempo de ignición:** 30 min

**Tiempo de combustión:** 2 horas (120 min).

**% Humeo:** Prácticamente nulo.

**Olor:** por escala 0

Mencionar que en los primeros minutos de la combustión logra percibirse un agradable olor a guarapo de caña de azúcar.

**Temperatura:** > 300°C (en la llama); 200 (en la superficie)

**Generación de cenizas:**

El porcentaje de ceniza se calcula a través de la ecuación del capítulo anterior. Los datos son los siguientes:

Masa de briquetas combustionadas: 267,61 g

Masa del residuo (Cenizas): 21,50 g

$$\%Cenizas = \frac{G1}{G2} * 100$$

$$\%Cenizas = \frac{21,50}{267,61} * 100 = 8,03\%$$

**Valor calórico:**

En la Tabla 3.13 se muestran los datos utilizados para el cálculo de valor calórico de las briquetas elaboradas con 70 % de carbonilla triturada, 10 % de miel final, 20 % de agua.

**Tabla 3.13.**Datos para la determinación del valor calórico para la Corrida 1.

Datos	Valor
Temperatura inicial del agua	30
Temperatura final del agua	100
Calor específico del agua (kcal/kg)	1
Calor latente del agua (kcal/kg)	539
Masa inicial de agua (kg)	0,6
Masa final de agua (kg)	0,500
Masa de briquetas (kg)	0.257

**Fuente:** Elaboración propia.

$$Q = 0,6 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} * 70 + 0,5 \text{ kg} * 539 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 311,50 \text{ kcal}$$

Luego este valor se divide entre la masa total de briquetas combustionadas:

$$\text{Poder calórico} = \frac{311,50 \text{ kcal}}{0,267 \text{ kg}} = 1166,67 \text{ kcal/k}$$

### 3.4 Tabulación y comparación de los resultados

En la Tabla 3.14 se resume toda la información obtenida de los ensayos realizados así como los valores referenciados en los capítulos anteriores de pruebas precedentes, tanto a nivel nacional como internacional.

**Tabla 3.14.** Resumen de las propiedades evaluadas y los valores hallados en la literatura.

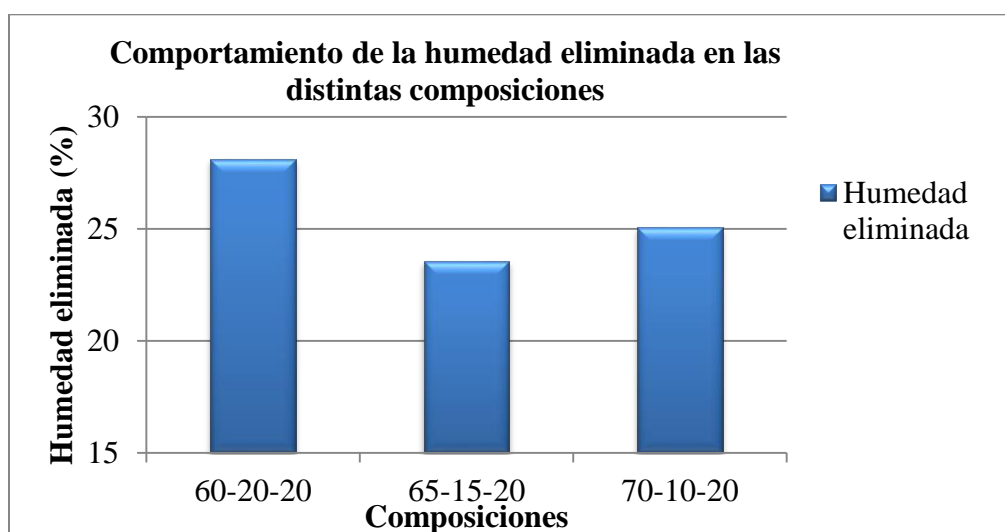
Propiedades	Corrida 1 60 - 20 - 20	Corrida 2 65 - 15 - 20	Corrida 3 70 - 10 - 20	Valores literatura
Humedad eliminada (%)	28,11	23,56	25,08	-
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	418,67	451,7	412,76	400 - 800
Resistencia al impacto (IRI)	1000	1000	250	Mín. 50
Resistencia a la ruptura por compresión (MPa)	0,937	0,989	0,729	Mín. 0,350
Tiempo de ignición (min)	30	25	30	-
Tiempo de combustión (min)	135	165	120	60 - 180
Porcentaje de humeo (%)	0	0	0	-

Olor (escala)	0	0	0	-
Temperatura (°C)	>300(llama); 200(superficie)	>300(llama); 200(superficie)	>300(llama); 200(superficie)	150 - 200
Generación de cenizas (%)	7,11	7,51	8,03	< 20
Valor calórico (kcal/kg)	1274,98	1312,89	1166,67	4500 - 8350

**Fuente:** Elaboración propia

A continuación usando como herramienta matemática Microsoft Excel se muestra el comportamiento de las propiedades cuantificables evaluadas en las diferentes composiciones con el fin de identificar la composición que ofrezca mejores resultados, además se refleja el modelo matemático que rige dicho comportamiento:

**Comparación 1:** Humedad eliminada vs. Composición.



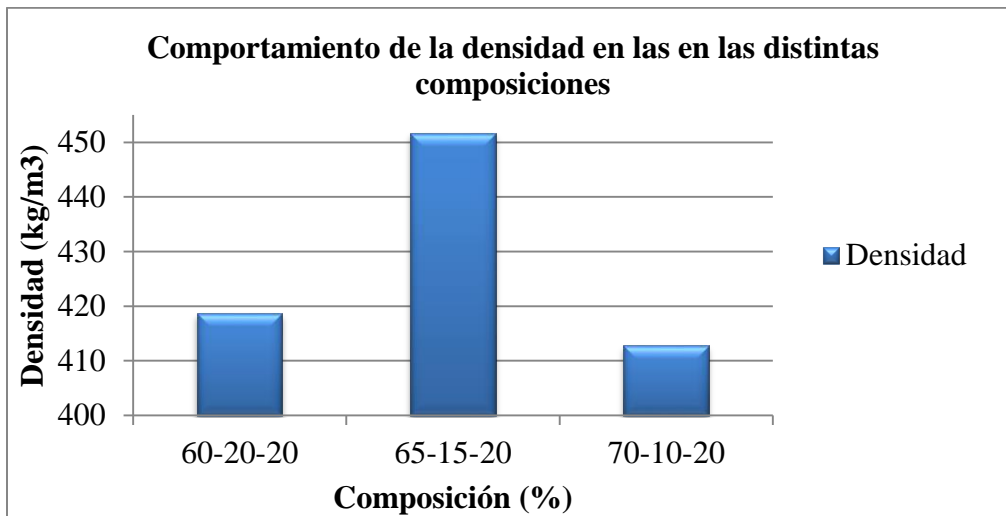
**Figura 3.4.** Comportamiento de la humedad eliminada en las distintas composiciones.

**Fuente:** Elaboración propia

La Figura 3.4 muestra el comportamiento de la humedad eliminada para las diferentes composiciones utilizadas en la elaboración de las briquetas, de la misma se puede deducir que las briquetas que menos pierden humedad son las de composición 6 -15 -20, mientras que las de 60 - 20 - 20 pierden más agua. Este punto no es decisivo para la identificación de la mejor formulación.



**Comparación 2:** Densidad vs. Composición.

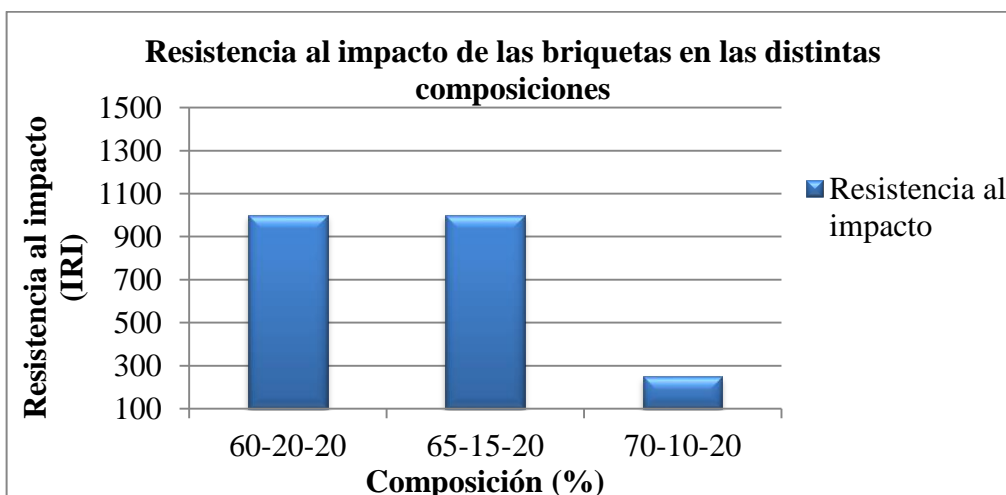


**Figura 3.5.** Comportamiento de la densidad en las en las distintas composiciones.

**Fuente:** Elaboración propia.

Esta figura refleja el comportamiento de la densidad para las diferentes composiciones, siendo la formulación 65 - 15 - 20 la que posee mayor densidad y por consecuencia es la de mejor resultado pues por la revisión bibliográfica del Capítulo 1 se sabe que uno de los fines de la elaboración de briquetas es obtener productos con la más alta densidad posible en el rango de los 400 a los 8800 kg/m<sup>3</sup>.

**Comparación 3:** Resistencia al impacto vs. Composición.



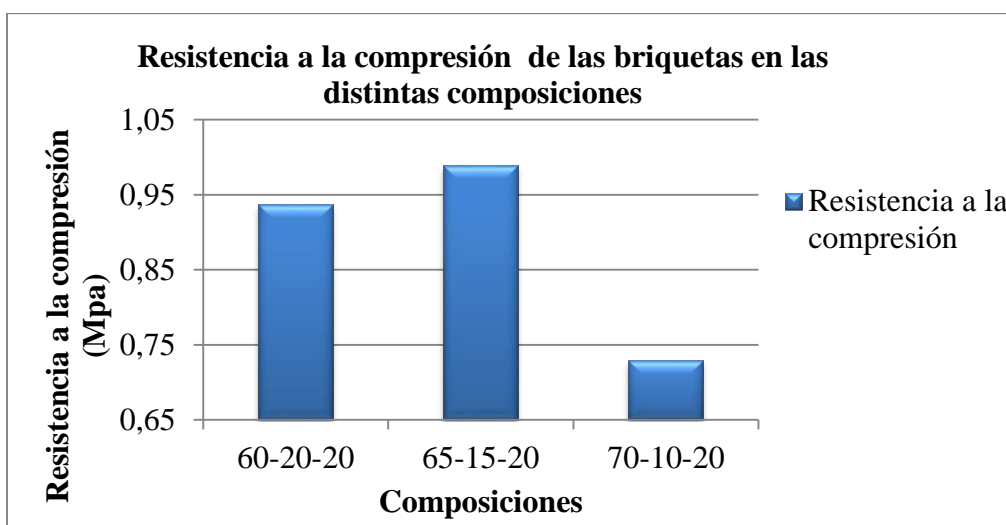
**Figura 3.6.** Resistencia al impacto de las briquetas en las distintas composiciones.

**Fuente:** Elaboración propia

La Figura 3.6 muestra la resistencia que ofrecen las briquetas ante el impacto, siendo las más resistentes las de composición 60 - 20 - 20 y 65 - 15 - 20, esta propiedad es decisiva en la calidad de las briquetas, pues en la manipulación, transportación y hasta en el propio proceso de elaboración pueden estar expuestas a los golpes, las caídas, etc.

**Comparación 4:** Resistencia a la compresión vs. Composición.

La Figura 3.7 al igual que la anterior muestra la resistencia de las briquetas pero en este caso a la compresión, siendo las más resistentes las de formulación 65 -15 -20, igualmente es un punto decisivo, pues las briquetas dispuestas para la comercialización son almacenadas en grandes montones, unas encima de las otras por lo que deben ofrecer gran resistencia a la compresión.



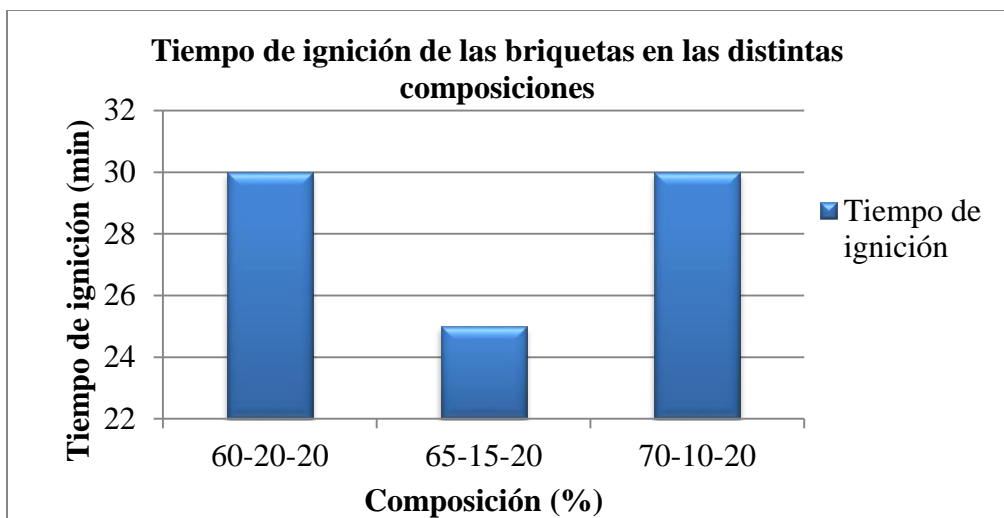
**Figura 3.7.** Resistencia a la compresión de las briquetas en las distintas composiciones.

**Fuente:** Elaboración propia

**Comparación 5:** Tiempo de ignición vs. Composición.

Como se expone en el capítulo anterior el tiempo de ignición de las briquetas está definido como el tiempo en el cual existe 60 % a 80 % de formación de ceniza visible en la briketa, y debe ser el menor posible con el fin de asegurar un mayor tiempo de combustión, por lo

tanto según la Figura 3.8, las briquetas con menor tiempo de ignición son las de composición 65 - 15 - 20.

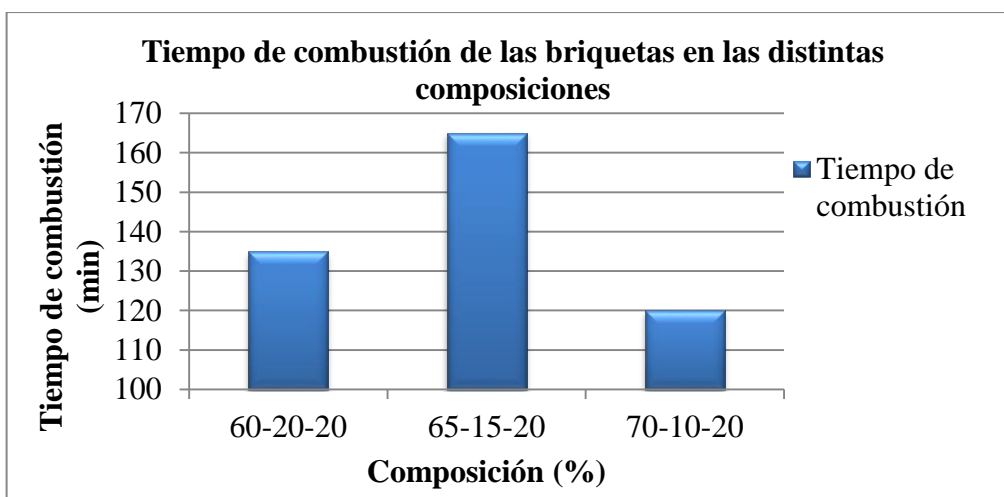


**Figura 3.8.** Tiempo de ignición de las briquetas en las distintas composiciones.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Comparación 6:** Tiempo de combustión vs. Composición.

Es el tiempo de combustión otro aspecto significativo en calidad de las briquetas de carbón vegetal, pues para mayor eficiencia de las mismas es importante que el tiempo en que estas están encendidas sea el mayor posible y así poder aprovechar más el calor brindado por las mismas, por lo tanto son las de formulación 65 - 15 - 20 las más eficientes en este aspecto.

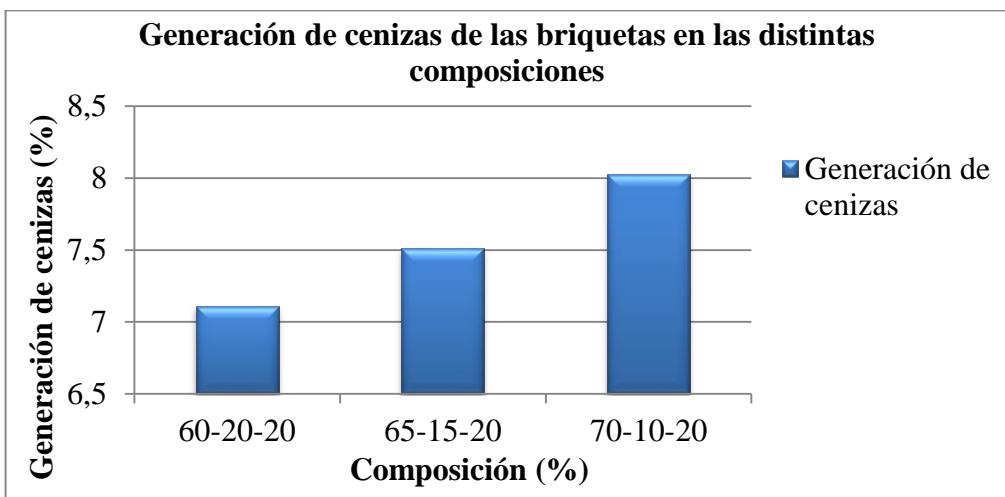


**Figura 3.9.** Tiempo de combustión de las briquetas en las distintas composiciones.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Comparación 7:** Generación de cenizas vs. Composición.

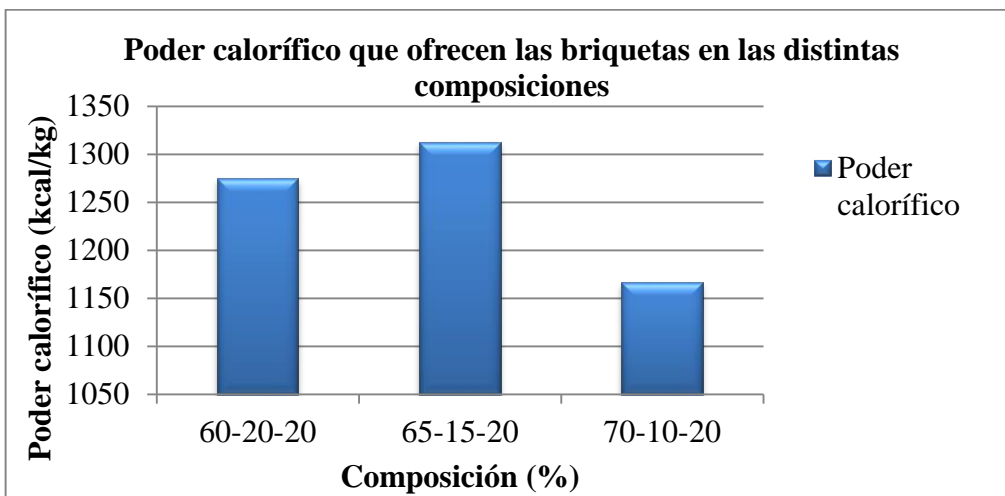
La Figura 3.10 refleja el porcentaje de generación de cenizas de las briquetas combustiónadas, siendo las que menor cantidad de cenizas producen las de composición 60 - 20 - 20, cumpliendo todas con el rango establecido en la literatura.



**Figura 3.10.** Generación de cenizas de las briquetas en las distintas composiciones.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Comparación 8:** Valor calórico vs. Composición.



**Figura 3.11.** Valor calórico que ofrecen las briquetas en las distintas composiciones.

**Fuente:** Elaboración propia.

El valor calórico que brinda la combustión de las briquetas fue hallado por el mecanismo descrito en el capítulo anterior, que como se sabe fue imposible determinar las pérdidas

conectivas, radioactivas, etc., sin embargo los valores obtenidos dan una idea del comportamiento de esta propiedad en las distintas composiciones propuestas, ofreciendo el mayor valor del valor calórico las de formulación 65 - 15 - 20.

### 3.5 Evaluación económica de las briquetas elaboradas

En las tablas que siguen a continuación se muestran los resultados obtenidos de correr los programas de balance y flujo para las alternativas con almidón y miel final. La información de los datos se muestra en el Anexo F:

**Tabla 3.15.** Indicadores económicos del proceso de elaboración de briquetas de elaboración de carbón vegetal usando como aglutinante almidón.

			<b>Período de Recuperación:</b>		
<b>TIR:</b>	110,77	%	1,83	Años	
	<b>MCUC</b>	Tasa de descuento			
<b>VAN:</b>	3401,80	al 12 %	<b>RVAN:</b>	4,43	
<b>VAN:</b>	3213,19	13 %	<b>RVAN:</b>	4,19	

**Fuente:** (González, 2016)

**Tabla 3.16.** Indicadores económicos del proceso de elaboración de briquetas de elaboración de carbón vegetal usando como aglutinante miel final.

			<b>Período de Recuperación:</b>		
<b>TIR:</b>	142,00	%	1,67	Años	
	<b>MCUC</b>				
<b>VAN:</b>	4697,44	al 12 %	<b>RVAN:</b>	6,12	
<b>VAN:</b>	4444,62	13 %	<b>RVAN:</b>	5,79	
<b>VAN:</b>	4209,22	14 %	<b>RVAN:</b>	5,48	
<b>VAN:</b>	3989,77	15 %	<b>RVAN:</b>	5,20	
<b>VAN:</b>	3784,98	16 %	<b>RVAN:</b>	4,93	

**Fuente:** Elaboración propia

Comparando ambas tablas, se aprecia un aumento del VAN de 3037,80 a un valor de 4697,44, y del TIR de un 110,77 a un 142,00 de la miel con respecto al almidón, mientras que el periodo de recuperación evidencia una disminución, y el RVAN un aumento, todo lo anterior está influenciado por la diferencia de los precios entre el almidón y la miel final. Que el RVAN aumente significa que la inversión en la miel final es más factible que la del

almidón. Es importante destacar que el fin del proyecto es la sustitución del aglutinante de importación por uno de producción nacional.

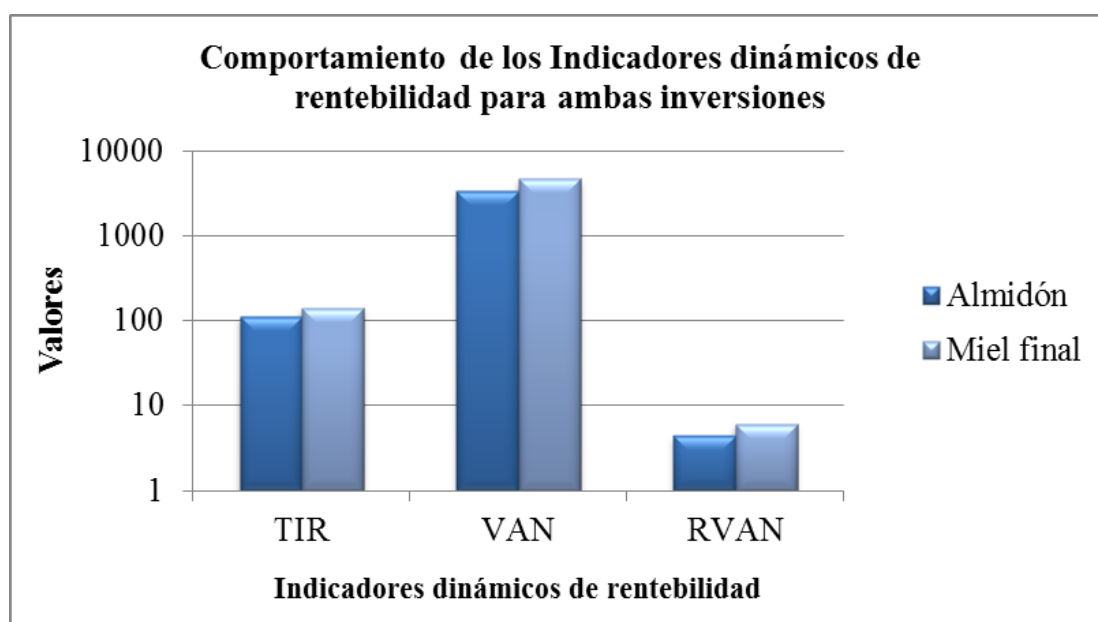
### 3.6 Distribución de las briquetas elaboradas

En la Tabla 3.16 se muestra la distribución final de las briquetas elaboradas en dependencia de la calidad de las mismas, dicha distribución se concibió teniendo en cuenta las prioridades del país.

**Tabla 3.16.** Distribución final de las briquetas elaboradas.

Composición	Destino
60 % carbonilla - 20 % miel final - 20 % agua	Red del MINCIN
65 % carbonilla- 15 % miel final - 20 % agua	Exportación
70 % carbonilla - 10 % miel final - 20 % agua	Uso interno: comedores de ACOPIO, secado de briquetas

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 3.12.** Comportamiento de los indicadores dinámicos de rentabilidad.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.7 Consideraciones ambientales y sociales

El proceso de fabricación de briquetas de carbón vegetal a partir de aglutinantes derivados de la industria azucarera puede influir tanto positivo como negativamente en el medio

ambiente y en la sociedad donde se sitúe. A continuación se hace referencia al impacto de este proceso.

### **Impacto ambiental**

En el proceso de producción, beneficio y comercialización del carbón, la carbonilla resultante del proceso es reutilizada en la producción de briquetas. Los desechos reciclables que se generan en el proceso productivo son los aceites usados producto de los mantenimientos periódicos, papel y acero, estos desechos se reciclan a través de las empresas CUPET y Empresa de Recuperación de Materias Primas. Además como resultado del negocio se limpian áreas infestadas de marabú para el fomento de plantaciones con manejo intensivo.

### **Impacto social**

La inversión se sitúa en un Consejo Popular afectado por el desmantelamiento del ingenio Guillermo Moncada, y la disminución de la capacidad productiva de la Papelera Damují. La fuerza de trabajo sólo necesitará una capacitación básica garantizada por la entidad inversionista que la gestionará con las unidades de más experiencias en la actividad y apoyada en la documentación técnica contratada con el equipamiento. La administración extranjera garantiza el complemento de los conocimientos tecnológicos para la completa capacitación del personal y su adiestramiento para que se opere con éxito todo el proceso productivo y comercial.

## Conclusiones

1. Mediante un estudio bibliográfico se demuestra que es posible la elaboración de briquetas aprovechando la carbonilla restante, empleando aglutinantes como el almidón, la miel final o melaza, la lignina y las arcillas.
2. Los residuos de la industria azucarera seleccionados preliminarmente como aglutinantes son la cachaza, el bagacillo por presentar lignina y la miel siendo esta la más significativa en este estudio.
3. Las variables que influyen en la calidad final de las briquetas son: humedad eliminada, densidad, resistencia tanto al impacto como a la compresión, tiempo de ignición, tiempo de combustión, porcentaje de humeo, olor, temperatura de la llama y de la superficie, generación de cenizas y poder calorífico
4. Como resultado de las pruebas se puede decir que la composición 65 % de carbonilla, 15 % de aglutinante y 20 % de agua utilizando la miel como aglutinante, arroja los mejores resultados.
5. La evaluación económica realizada al proceso de fabricación de briquetas a partir de carbonilla y miel final demuestra que es factible aunque presenta un aumento del VAN y el TIR con respecto a las elaboradas con almidón, siendo el indicador más importante el RVAN con un aumento del 4,43 al 6,12.



## **Recomendaciones**

- Se propone para próximas investigaciones perfeccionar el mecanismo utilizado para determinar el valor calórico adquiriendo una bomba calorimétrica.
- Se recomienda introducir la tecnología ofertada por CRISCI Internacional S.R.L.
- Se debe realizar análisis para determinar la composición de los gases de salida en el proceso de combustión

## Referencias bibliográficas

- Alma, M. E. (2014). Diseño de proceso y de planta piloto para fabricación de briquetas de aserrín. Perú. Recuperado de: <https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle11042/1829/ING535.pdf>
- Arce, D. (2013). Proyecto de creación de una fábrica de briquetas de aserrín en Santa Rosa del Uguaray. Paraguay, Universidad Tecnológica Intercontinental, Santa Rosa del Araguay. Recuperado de: [:utic.edu.py/investigacion/.../72/TESIS%20FINAL%20DERLIS%20DA%20SILVA.pdf](http://utic.edu.py/investigacion/.../72/TESIS%20FINAL%20DERLIS%20DA%20SILVA.pdf)
- Avilés, J. R. (2011). Estudio técnico para la obtención de briquetas de fácil encendido a partir de carbón de la cascarilla de palma africana y su producción en la Empresa Tysai S.A. Recuperado de: [dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1740/1/85T00188.pdf](http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1740/1/85T00188.pdf).
- Bates, (1997). The agglomeration of Australian low rank coal Australia. (pp. 47–52).
- BRIEC, (2011). Briquetas Ecológicas. Recuperado de: [:es.unibrander.com/espana/5689108ES/briec-briquetas-ecologicas-crevillent.html](http://es.unibrander.com/espana/5689108ES/briec-briquetas-ecologicas-crevillent.html)
- Cancio-Bello, Á. (2007). Evaluación de mezclas y aglutinantes en la elaboración de briquetas de biomasa. Recuperado de: [: congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/06/06-69.pdf](http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/06/06-69.pdf)
- Casas, W. A. (2010). Optimización de producción de briquetas de carbón y biomasa. Lima, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería. Ingeniero Metalurgista.
- Colectivo de Autores (1986). La industria de los derivados de la caña de azúcar. Cuba, Instituto cubano de Investigaciones de los derivados de la caña de azúcar.
- Colectivo de Autores (2007). "Ciencias forestales y del ambiente." *Revista Chapingo*, México 7.

- Contreras, G. (2015). Qué aglutinante usar para briquetas. Recuperado de: <http://infomadera.net/uploads/articulos>.
- Corredor, Gisel A. (2012). Plan de negocios para la fabricación y comercialización de briquetas de carbón vegetal a partir de los desechos de la madera y orgánicos en el área del Magdalena Medio, Santander, Universidad Industrial de Santander.
- Chicago, Consulado de la República de Argentina (2007). Estudio de mercado para las briquetas de carbón y carbón vegetal en el mercado de Los Estados Unidos.
- FAO (1983). Productos de la Industria Mecánica de la Madera. Métodos Simples para Fabricar Carbón Vegetal. Italia, Roma., Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Departamento de Montes, Dirección de Industrias Forestales, Dirección de Productos de la Industria Mecánica de la Madera.
- FAO (2014). Manual del Usuario. Módulo Opciones de Uso Final de la Energía. Sub-Módulo Productos Intermedios o Finales. Sección 1: Briquetas.
- González, I. (2014). Cuba exporta carbón vegetal de plantas invasoras. Recuperado de: [www.ipsnoticias.net/2014/11/cuba-exporta-carbon-vegetal-de-plantas-invasoras](http://www.ipsnoticias.net/2014/11/cuba-exporta-carbon-vegetal-de-plantas-invasoras).
- González, V, y Ramos, F. (2016). Ficha de oportunidades de inversión extranjera. Explotación de Gonzálezuna planta de beneficio y briquetas de carbón vegetal. Cartera deInversiones del MINVEC.
- Herrera, L. M. (2017). Carbon Vegetal, una apuesta razonable. Granma. Cuba.
- Hugot, E. (1963). Manual para Ingenieros azucareros La Habana, Cuba.
- Inga, P. (2016). Características fisicoquímicas de la madera y carbón de once especies forestales en la amazonia peruana. *Revista forestal del Perú*.
- Knauth (1992). Brown coal briquetting in Germany and the former Comecon countries of eastern Europe. (pp. 12 - 20).
- Komarek, K. R. (1967). Selecting binders and lubricants for agglomeration process. (pp. 154 - 155).

- Maldonado, A. L. (2015). *Determinación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, desechos sólidos, vacasa y tetrabrik, utilizando almidón y cal como aglutinantes*. (Trabajo de Diploma), Universidad de San Carlos. Ingeniería Química, Guatemala
- Marticorena, V. E. (2014). *Aprovechamiento de la cachaza, la colofonia y la arcilla como aglutinantes en la formulación de briquetas energéticas utilizando residuos de aserrío*. (Trabajo de Diploma), Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala,
- Martín, F. M. (1989). Pellets y briquetas. Recuperado de: [http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo\\_2293\\_9990.pdf](http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2293_9990.pdf).
- Martínez, F. M. (2002). "Biocombustibles Sólidos Densificados." Mundi-Prensa:p.154.
- Mendoza, Elsa. (2005). Estudio financiero del proyecto comercialización del excedente de bagazo de caña de azúcar del Ingenio San Diego. Madrid, España.
- Molina, J.(2017). Experimentan salto en producción de carbón vegetal en Cienfuegos. 5 de Septiembre. Cuba.
- Moreno, María J. (2002). Briqueteado de lignitos con aditivos. Seguimiento fisicoquímico del proceso.
- NC: 580 (2008). Especificaciones de calidad del carbón vegetal. Cuba.
- Normas IRAM 17.005 carbones y coque (2005). Método de determinación de humedad - IRAM 17.007 carbones y coque. ASTM D3172 – D3173 Y D3174 – ISO 1171 Y 562.
- Oreggioni, M. S. (2014). Aportando a la sustentabilidad de la industria siderúrgica. Recuperado de: [docplayer.es/24714519-Nuevas-tecnologias-de-reduccion-directa.html](http://docplayer.es/24714519-Nuevas-tecnologias-de-reduccion-directa.html). pdf
- Ortiz, L. (2003). Aprovechamiento de la Biomasa Forestal producida por la Cadena Monte-Industria. Producción de elementos densificados (en línea). Recuperado de: : [www.unionsagrarias.org/archivos/docs/Aprovechameinto\\_Biomasa\\_I.pdf](http://www.unionsagrarias.org/archivos/docs/Aprovechameinto_Biomasa_I.pdf)

Otálora, J. (2011). Briquetas. Recuperado de: :

[stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/6111/1/92694041](http://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/6111/1/92694041)

Pietsch (1991). Size enlargement by agglomeration. Nueva York.

Prudente (1989). Aspectos técnicos da briquetagem do carvão vegetal no Brasil. Brasília, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

Ramos, L. A. (2010). Fabricación y evaluación de eficiencia y emisiones de briquetas a base de residuos agrícolas como alternativa energética al uso de leña.

Richards, S. R. (1990). Fuel ProcTech In Physicaltesting of fuel briquettes. (pp. 89 - 10).

Ríos, A. (2015). La ingeniería agrícola del productor cubano. La Habana, Cuba.

Rupp-Dahlem (1995). New briquetting process using starch as a binder Australia. (pp. 55 - 70).

Sánchez, M. A. (2007). Validación del funcionamiento de una briqueteadora de carbón vegetal. Recuperado de: :

[files.departamento-de-productos-forest.webnode.es/.../Mora%20Sanchez%20Marisol](http://files.departamento-de-productos-forest.webnode.es/.../Mora%20Sanchez%20Marisol)

Schinzel (1981). Chemistry of coalutilisation. Nueva York.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, (1978). Estudio de viabilidad para la instalación de una fábrica productora de briquetas de carbón vegetal.

Secretaria de Energía de Argentina, (2005). Energías renovables. Argentina.

Sorg, J. M.(2006). *Utilización del bagazo de caña de azúcar para la elaboración de briquetas de combustible sólido para usos domésticos en la ciudad de Guatemala.* (Trabajo de Diploma), Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

Stassen, H. (2002). *Nuevas tecnologías de producción de carbón vegetal. Revista internacional de silvicultura e industrias forestales* 53, (4).

- Tejas, Y.(2016). Jobabo, capital del carbón en Cuba. Recuperado de :  
[www.newsjs.com/cu/jobabo-capital-del-carbón-en-cuba/d6iskwPOldi5L4M/](http://www.newsjs.com/cu/jobabo-capital-del-carbón-en-cuba/d6iskwPOldi5L4M/)
- Valderrama, A. Quispe, C., LLantoy, V. y Gallo, J. (2014). Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calorífica en cocinas no convencionales.
- Velásquez, A. (2014). *Diseño de briquetas ecológicas para la generación de energía calorífica y mejoramiento de ecosistemas en el corregimiento de Nabusimake, municipio de pueblo Bello Cesar*. (Trabajo de Diploma), Universidad Nacional Abierta y a distancia –UNAD. Valledupar
- Wolf, E. (1985). *Manual para la producción de carbón vegetal con métodos simples*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables. México.

## Anexos

**Anexo A:** Componentes utilizados en la fabricación de las briquetas de carbón vegetal: a) bagacillo, b) cachaza, c) miel final, d) carbonilla triturada.



a)



b)



c)



d)

**Anexo B:** Molino de bolas usado para triturar la carbonilla.



**Anexo C:** Tamiz de laboratorio usado para la prueba de tamizado.



**Anexo D:** Briquetas elaboradas con las distintas composiciones.





**Anexo E:** Briquetas en el proceso de combustión.





<b>4.COSTOS DE OPERACION (2+3)</b>	<b>0, 0</b>	<b>1.40 9,7</b>	<b>1.626,4</b>	<b>1.706,0</b>	<b>1.78 9,6</b>	<b>1.78 9,6</b>	<b>1.78 9,6</b>	<b>1.78 9,6</b>	<b>1.78 9,6</b>	<b>1.78 9,6</b>	<b>1.789 ,6</b>
5.DEPREC. y AMORTIZACION											
6.GASTOS FINANCIEROS (Intereses y Serv.Banc.)		767, 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7.Honorarios de Admin	0, 0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>8.COSTOS TOTALES (4+5+6+7)</b>	<b>0, 0</b>	<b>2.17 7,3</b>	<b>1.626,4</b>	<b>1.706,0</b>	<b>1.78 9,6</b>	<b>1.78 9,6</b>	<b>1.78 9,6</b>	<b>1.78 9,6</b>	<b>1.78 9,6</b>	<b>1.78 9,6</b>	<b>1.789 ,6</b>
9.UTILIDADES BRUTAS (1-8)	0, 0	648, 0	1.622,6	1.705,5	1.79 2,5	1.79 2,5	1.79 2,5	1.79 2,5	1.79 2,5	1.79 2,5	1.792 ,5
10.RESERVA p/CONTING.	0, 0		81,1	34,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11.UTILID. IMPONIBLES (9- 10)	0, 0	648, 0	1.541,5	1.671,5	1.79 2,5	1.79 2,5	1.79 2,5	1.79 2,5	1.79 2,5	1.79 2,5	1.792 ,5
12.IMPUESTOS S/UTILID.	0, 0	226, 8	539,5	585,0	627, 4	627, 4	627, 4	627, 4	627, 4	627, 4	627,4
<b>13.UTILIDADES NETAS (11- 12)</b>	<b>0, 0</b>	<b>421, 2</b>	<b>1.002,0</b>	<b>1.086,5</b>	<b>1.16 5,1</b>	<b>1.16 5,1</b>	<b>1.16 5,1</b>	<b>1.16 5,1</b>	<b>1.16 5,1</b>	<b>1.16 5,1</b>	<b>1.165 ,1</b>
14.FONDO DE ESTIMULAC.	0, 0	21,1	50,1	54,3	58,3	58,3	58,3	58,3	58,3	58,3	58,3
<b>15.DIVIDENDOS (13-14)</b>	<b>0, 0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
.Parte Nacional	0, 0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
.Parte Extranjera	0, 0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16.UTILID. NO DISTRIB.	0, 0	400, 1	951,9	1.032,1	1.10 6,9	1.10 6,9	1.10 6,9	1.10 6,9	1.10 6,9	1.10 6,9	1.106 ,9
17.UTIL.NO DISTR.ACUM.	0, 0	400, 1	1.352,0	2.384,1	3.49 1,0	4.59 7,9	5.70 4,7	6.81 1,6	7.91 8,5	9.02 5,3	10.13 2,2









<b>RELACIONES</b> <b>(en %)</b>												
<b>Capital Social/Pasivo Total</b>		100,0	59,8	32,9	22,5	17,0	13,6	11,4	9,8	8,6	7,6	6,9
<b>Deuda a Largo Plazo/Patrimonio Neto</b>		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Activo Corriente/Pasivo Corriente</b>		0,0	313,3	304,1	304,1	304,1	304,1	304,1	304,1	304,1	304,1	304,1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		<b>OJO: Los Activos no coinciden con los Pasivos + Patrimonio. Ver abajo Diferencia</b>										
Diferencia: ==>				1162,3	2215,0	3307,7	4414,5	5521,4	6628,3	7735,1	8842,0	9948,9