



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA
INGENIERIA MECÁNICA**

“Elaboración de briquetas y análisis del poder calorífico para su utilización como combustible sólido en cocinas eco-barril y comparar su eficiencia con la leña del *Pithecellobium Arboreum* en los laboratorios de Leña de la F.T.I en la Universidad Nacional de Ingeniería. UNI-RUPAP”

AUTORES

Br. Roxana Edith Silva Gómez
Br. Jimmy Alberto Ruiz Montano
Br. Marvin Antonio Quiroz Herrera

TUTOR

Ing. María Teresa Castillo Rayo

Managua, Febrero de 2019

DEDICATORIA

Esta monografía y proyecto de graduación es dedicada en primer lugar a Dios, que nos brinda la oportunidad día con día de seguir enriqueciendo nuestros conocimientos y continuar con nuestra mejor preparación en el ámbito profesional, siendo siempre nuestro pilar para poder superar cualquier adversidad y reto que se pudiera presentar durante todo este proceso.

A nuestros padres, que con mucho esfuerzo nos han ayudado y apoyado en todo momento a lo largo de nuestra preparación, sirviendo también como ejemplos de superación y perseverancia en nuestras vidas.

A nuestra tutora Ing. María Teresa Castillo Rayo, quien en todo momento nos brindó su ayuda y oportuno apoyo con los vastos conocimientos que ha adquirido en su experiencia profesional y laboral, para el mejor desarrollo de nuestro proyecto de graduación.

A todo el personal, docente y profesionales, que componen el Programa Institucional de la madera (PIMA) que nos extendieron su apoyo y los medios necesarios en el desarrollo del proyecto.

Resumen

El estudio realizado tiene como objetivo estandarizar la fabricación de briquetas a bajas presiones usando como aglutinantes papel periódico y almidón de yuca, definiendo que proporciones son las que garantiza el secado, manipulación, transporte y encendido más óptimo. Se fabricaron dos tipos de briquetas; de aserrín más papel y de almidón de yuca respectivamente, para ser usados como sustituto de la leña. Posteriormente, con ayuda de una bomba calorimétrica se calculó el poder calorífico de los mejores tipos de briquetas y por último se realizó una prueba de ebullición de agua (Water Boiling Test "WBT"), que es una simulación del proceso de cocción de alimentos utilizando la cocina eco-barril, para realizar un análisis de la eficiencia de la cocina y así mismo promover el uso de cocinas limpias que son capaces de ahorrar hasta un 50% de combustible (leña).

Todos estos resultados son comparados con la leña *Pithecellobium Arboreum* conocido como quebracho blanco tomado como punto de referencia de investigaciones pasadas, sometida a las mismas experimentaciones y de esta forma saber el alcance que tienen estas briquetas para disminuir el uso de leña. Las briquetas de mejores resultados están compuestas de 75% aserrín y 25% de papel con un poder calorífico de 23.56 MJ/kg y las menos provechosas compuestas de 83% de aserrín y 17% de almidón de yuca con un poder calorífico de 23.77 MJ/kg que, aunque tuvieron más poder calorífico son menos ventajosas por su fragilidad y el desprendimiento de humo debido a que acumulan más humedad. Los valores de las briquetas son menores a los de la leña *Pithecellobium Arboreum* (Quebracho blanco), esto debido a que las briquetas son una mezcla de diferentes tipos de madera, pero considerando, que los resultados no difieren en grandes magnitudes y la materia prima es aserrín, se concluye que, las briquetas pueden ser usadas como combustible sólido en sustitución de la leña. La industria maderera de Nicaragua se vería beneficiada, ya que aprovecharía el aserrín desperdiciado, generando más ingresos, creando más fuentes de trabajo y dando una mejor imagen como empresa; en el ámbito

ambiental al utilizar el aserrín se evita que contamine el ambiente ya que los residuos pueden ser un medio para la propagación de plaga y enfermedades y se reduce la tala de árboles de uso para leña ya que las briquetas sustituirían a la leña.

Tabla de contenido

Introducción	1
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
Justificación	3
I. Marco Teórico	4
1.1 Biomasa.....	4
1.2 Descripción de las briquetas	5
1.2.1 Materias primas	5
1.3 Definición de las briquetas.....	7
1.4 Principales características físicas y químicas de las briquetas	8
1.4.1 Forma y tamaño.....	8
1.4.2 Densidad.....	8
1.4.3 Humedad	9
1.4.4 Composición de la briqueta	10
1.4.5 Variables de inflamabilidad y combustibilidad	10
1.4.6 Poder calorífico	10
1.5 Ventajas del uso de briquetas	12
1.6 Descripción de la cocina eco-barril	12
1.7 Descripción de leña de Pithecellobium Arboreum (Quebracho blanco)....	13
1.8 Descripción de la prueba de ebullición de agua (WBT).....	14
1.8.1 Fase 1: Inicio en Frio de Alto Poder (IFAP).....	14
1.8.2 Fase 2: Inicio en Caliente de Alto Poder (ICAP).....	14
1.8.3 Fase 3: Fuego Lento (FL).....	15
II. Metodología y Desarrollo del Tema	16
2.1 Fabricación de briquetas de aserrín	16
2.1.1 Selección y acumulación de la materia prima.....	16
2.1.2 Medición de las proporciones para cada tipo de briqueta.....	17
2.1.3 Preparación de los aglutinantes	17
2.1.4 Mezclado.....	18
2.1.5 Compactación de la mezcla	18
2.1.6 Secado	18

2.2	Etapa de pre-evaluación de las briquetas	19
2.1.1	Pruebas físicas	19
2.1.2	Pruebas de encendido	19
2.2	Análisis del poder calorífico de las briquetas	20
2.2.1	Equipos	20
2.2.2	Procedimiento para la determinación del poder calorífico para una bomba de Mahler	23
2.2.3	Protocolo de trabajo usado en la bomba calorimétrica Mahler	24
2.3	Etapa de evaluación final de las briquetas	26
2.3.1	Materiales necesarios para la prueba	26
2.3.2	Protocolo usado para las pruebas de ebullición de agua (WBT)	26
2.3.3	Valores de referencia y variables	29
2.3.4	Datos tomados durante la prueba	31
2.3.5	Formulas aplicadas	32
III.	Resultados	33
3.1	Resultados de la etapa de pre-evaluación de las briquetas	33
3.2	Resultado del análisis del poder calorífico de las briquetas	34
3.1	Resultados de la etapa final de evaluación de las briquetas	38
3.1.1	El tiempo para llevar a ebullición 5 litros de agua	40
3.1.2	La eficiencia térmica de la estufa	41
3.1.3	El combustible consumido	43
3.1.4	La tasa de combustible	45
3.1.5	Potencia de la estufa	46
IV.	Conclusiones	47
V.	Recomendaciones	49
VI.	Bibliografía	50

Anexos

Índice de Figuras

Figura 1 Briquetas de aserrín, creación propia.....	7
Figura 2 Temperatura durante las tres fases de la prueba de ebullición [5]	14
Figura 3 Diagrama de flujo para fabricación de briquetas de aserrín	16
Figura 4 Bomba calorimétrica de Mahler	20
Figura 5 Prensa	21
Figura 6 Balanza de precisión Re-Zero y Molino.....	21
Figura 7 Hilo de ignición	22
Figura 8 Muestra de briquetas de aserrín y papel y muestra de briquetas de aserrín y almidón	22
Figura 9 Esquema de la bomba Mahler.....	25
Figura 10 Variación de la temperatura con el tiempo durante la combustión en muestras de aserrín y papel y aserrín y almidón, creación propia.....	36
Figura 11 Comparación de Poderes Caloríficos de combustibles sólidos, creación propia.	37
Figura 12 Comparación del Tiempo para llevar a ebullición 5 litros de agua, creación propia.	40
Figura 13 Eficiencia térmica de las briquetas en las tres fases de las pruebas de ebullición de agua (WBT), creación propia.....	41
Figura 14 Comparación de Eficiencia térmica de briquetas Vs Quebracho blanco, creación propia.	42
Figura 15 Combustible consumido en las tres fases del WBT de las briquetas, creación propia.	43
Figura 16 Comparación del consumo de combustible y comportamiento de la eficiencia en la fase de inicio en alto poder (IFAP), creación propia.	44
Figura 17 Comparación de tasa de combustible, creación propia.	45
Figura 18 Potencia de la estufa, creación propia.....	46

Índice de Tablas

Tabla 1 Resultados del WBT en las fases de inicio en frío de alto poder e inicio en caliente de alto poder. [17]	30
Tabla 2 Variables a calcular en la prueba de ebullición de agua (WBT), creación propia.	31
Tabla 3 Variables tomadas durante la prueba de ebullición de agua (WBT), creación propia.	31
Tabla 4 Resultados de las pruebas físicas, creación propia.....	33
Tabla 5 Resultados de la prueba de encendido, creación propia.....	34
Tabla 6 Peso de las muestras, temperaturas iniciales y finales del proceso y capacidad calorífica del calorímetro Mahler, creación propia.....	35
Tabla 7 Incremento de la temperatura durante la combustión para las muestras de aserrín y papel, creación propia.	35
Tabla 8 Incremento de la temperatura durante la combustión para las muestras de aserrín y almidón, creación propia.....	36
Tabla 9 Resultados finales de la prueba calorimétrica, creación propia.....	37
Tabla 10 Resultados del WBT por fases para las briquetas de aserrín y papel, creación propia.	38
Tabla 11 Resultados del WBT por fases para las briquetas de aserrín y almidón, creación propia.....	39

Introducción

La industria maderera produce grandes volúmenes de residuos durante el proceso de explotación y trabajo de la misma, en el mundo se desarrollan cada día nuevas tecnologías para dar un uso racional a estos restos, siendo una necesidad social en aras de reducir la contaminación y aumentar la eficiencia de estos procesos. Existen varias formas de procesar el aserrín: para la producción de pulpas, papel, fertilizantes orgánicos, combustible, etc.

En la actualidad casi la mitad de la población mundial cocina, hierve agua o calienta sus casas a través de la quema de maderas, estiércol, residuos agrícolas, o carbón, en fuegos abiertos o estufas rudimentarias. El cocinar con leña es una de las formas más difundidas de preparar los alimentos. Según “The Global Alliance For Clean Cookstoves”, en Nicaragua el 56.5% de la población tanto en el área rural (91.8%) como urbana (31.4%) cocinan con este tipo de combustible (cleancookstoves, 2016). Tanto es así que según el Ministerio de Energía y Minas la leña ocupa el 45.8% del consumo final de energía del país y es utilizada casi exclusivamente en los hogares para cocción de alimentos. (Ministerio De Energias y Minas , 2016)

Este proyecto pretendió utilizar estos residuos para la elaboración de briquetas de aserrín, que utilizan papel y almidón de yuca como aglutinante obteniendo un combustible sólido para ser usado en las cocinas limpias y a fuego abierto. De esta forma se aprovecharía este sobrante, el cual es visto como desecho en Nicaragua. La cocina en la que se realizaron las pruebas, es una cocina de alta eficiencia, donde se evaluó el rendimiento de las briquetas y se comparó el poder calorífico con la de la leña del *Pithecellobium Arboreum* (Quebracho). Dicha investigación contribuirá a una disminución de la tala de árboles en el uso de la leña pues al comercializar briquetas mejora el aprovechamiento del aserrín, siendo más amigable con el medio ambiente ya que se utiliza un combustible reciclado.

Objetivo General

- Fabricar briquetas a base de aserrín para evaluar su rendimiento en la utilización de cocinas eco-barril y compararles con el poder calorífico de la leña del *Pithecellobium Arboreum* (Quebracho)

Objetivos Específicos

- Determinar la composición de la briqueta utilizando aserrín, papel y almidón de yuca.
- Analizar el poder calorífico de las briquetas.
- Comparar el poder calorífico de las briquetas, con la leña de *Pithecellobium arboreum* (Quebracho).

Justificación

En la actualidad en Nicaragua la falta de aprovechamiento del aserrín genera desperdicios que terminan por contaminar el medio ambiente ya que constituyen un depósito y un foco para la propagación de plagas y enfermedades. También los subproductos reducen el espacio disponible en los centros de elaboración de la madera y con ello la movilidad necesaria para la producción; generan y acumulan polvo en el aire, que conlleva otro mal, el de la emisión de dióxido de carbono a la atmosfera, y perjudican la salud de los trabajadores y de los habitantes de zonas cercanas a los aserraderos, a la vez que suponen otros problemas ambientales por incendio y autocombustión. El proyecto propone la fabricación de briquetas de aserrín, que utilizan el papel y almidón de yuca como aglutinante para ser usadas como combustible sólido, en una cocina mejorada de alta eficiencia eco-barril, en el Laboratorio de Cocinas Limpias de la Facultad de Tecnología de la Industria, (F. T. I.) de la Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Pedro Arauz Palacios, Managua.

Las cocinas mejoradas están diseñadas para ahorrar un 50% de leña y eliminar el humo a través de una chimenea para no afectar al usuario, en búsqueda de mejorar la calidad de vida y contribuir con el medio ambiente. Por lo cual el presente proyecto, pretende implementar el uso de briquetas, que es un combustible sólido hecho a base de aserrín que emite poco humo al quemarse y el porcentaje de cenizas es menor que el de la leña.

Al experimentar el uso de briquetas en la cocina se evaluaron los beneficios tanto del combustible como donde es quemado midiendo el poder calorífico de este y comparándolo con la leña del *Pithecellobium Arboreum* (Quebracho) para determinar su eficiencia y el aprovechamiento de los residuos de la madera aserrada y obtener una alternativa energética extra que brindaría a la cocina un quemado más completo en su cámara de combustión.

I. Marco Teórico

1.1 Biomasa

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica. (Garrido, 2012)

Antes de que la biomasa pueda ser utilizada para fines energéticos, tiene que ser convertida en una forma más conveniente para su transporte y utilización. A menudo, la biomasa es convertida en formas derivadas tales como carbón vegetal, briquetas, gas etanol y electricidad. Las tecnologías de conversión incluyen desde procesos simples y tradicionales, como la producción de carbón vegetal en hogueras bajo tierra; hasta procesos de alta eficiencia. (energiza, s.f.)

Desde tiempos remotos el hombre ha utilizado la biomasa como fuente energética para realizar sus tareas cotidianas. Cuando el uso de combustibles fósiles comenzó a desarrollarse la biomasa se vio aislada a un plano inferior, donde su aportación a la producción de energía primaria era insignificante. En la actualidad debido a diverso factores, detallados a continuación, ha habido un resurgimiento de la biomasa como fuente energética (Grupo Energía Renovables De Mexico, 2018)

Los factores responsables de favorecer la biomasa como fuente de energía son:

- El encarecimiento del precio del petróleo.
- El aumento de la producción agrícola.
- Necesidad de buscar usos alternativos a la producción agrícola.
- Cambio climático.
- Posibilidad de usar los conocimientos científicos y técnicos para optimizar el proceso de obtención de energía.

1.2 Descripción de las briquetas

1.2.1 Materias primas

Los residuos de procesos forestales son una importante fuente de biomasa que actualmente es poco explotada en el área centroamericana. Se considera que, de cada árbol extraído para la producción maderera, solo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%. Se estima que un 40% es dejado en el campo, en las ramas y raíces, a pesar de que el potencial energético es mucho mayor. Otro 40% se pierde en el proceso de aserrado, en forma de astillas, corteza y aserrín. (Evenor, s.f.)

Las principales materias primas para la elaboración de las briquetas de esta investigación son:

- Aserrín
- Aglutinantes

1.2.1.1 Aserrín

El aserrín es el conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando ésta es aserrada; también contiene minúsculas partículas de madera producidas durante el proceso y manejo de la misma, paneles contrachapados y/o aglomerados. Además del polvo, en el proceso de aserrado se genera la viruta, que es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral.

En los residuos industriales, el contenido de humedad depende en gran medida de la fase del proceso en que se extraiga y del secado del producto antes de esa fase. Para el caso del aserrín y de otros residuos madereros se reportan valores de humedad superiores al 10 % y contenido de cenizas superiores a 0,5 %.

1.2.1.2 Aglutinantes

En la producción de briquetas, se suelen utilizar aglutinantes para mejorar la calidad del producto final. Sin aglutinante, las briquetas pueden romperse durante

su almacenamiento, lo que contribuye a la formación de gases peligrosos como el monóxido de carbono. (abc Machinery, 2015)

Los materiales aglutinantes son productos pulverizados que, cuando se mezclan con agua, sufren una transformación química que produce su endurecimiento al aire o bajo agua. Para la fabricación de briquetas a bajas presiones que es este caso, se propuso la utilización de aglutinantes como papel periódico y almidón de yuca.

1.2.1.3 Papel periódico

El papel prensa o papel periódico, está fabricado principalmente sobre la base de papel recuperado o de pasta mecánica. Puede ser blanco o ligeramente coloreado y su gramaje (peso por metro cuadrado) oscila entre los 40 y los 52 g/m, aunque puede llegar a 65 g/m; para un papel periódico, tamaño universal, el peso básico del papel es definido como el peso en gramos de una hoja de un metro cuadrado, el reventamiento mide la resistencia del papel cuando es sometido a una deformación a través de un diagrama de caucho. (ARQHYS, 2012). En este caso usamos el papel periódico como aglutinante porque se encuentra disponible en todo el país, además que contribuye al reciclamiento del mismo.

1.2.1.4 Almidón de yuca

El Almidón de Mandioca o fécula de mandioca es el principal derivado de la raíz de la mandioca o yuca, que por su naturaleza es libre de gluten. Es un polvo blanco y fino que se utiliza como aglutinante o espesante de alimentos. Este es un hidrato de carbono con un alto nivel de glucosa que puede actuar como agente espesante y adhesivo una vez que se disuelve en agua caliente.

El almidón de yuca tienes diferentes usos en la industria alimenticia, farmacéutica, textil, industria del papel y pulpa e industria de adhesivos. El almidón de yuca es otro tipo de aditivo que funciona como aglutinante el cual fue probado en la investigación para categorizar cual es el más apto en el quemado para la cocina eco-barril.

1.3 Definición de las briquetas

Las briquetas o bloque sólido, son bio-combustibles para generar calor utilizado en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas. La materia prima de la briketa puede ser biomasa forestal procedente de aprovechamientos selvícolas, biomasa derivada de fábricas de la madera (aserraderos, fábricas de puertas, muebles, tableros de partículas, etc.), biomasa residual industrial, urbana, carbón vegetal o simplemente una mezcla de todas ellas.

Las briquetas son un producto 100% ecológico y renovable, catalogado como biomasa sólida, que viene en forma de cilindros o ladrillos compactos. (Tienda Biomasa, 2018)

Las características comunes de todas las briquetas es su alta densidad. Su forma suele ser cilíndrica como se muestra en la Figura 1, pero no es la única forma como pueden ser elaboradas. Cada proceso y fabricante produce una briketa de forma y dimensiones distintas. Las briquetas son un combustible formado por la compactación de biomasa. Protegidas ante el contacto directo del agua, las briquetas pueden ser almacenadas durante largos periodos de tiempo, sin que por ello pierdan en consistencia o calidad. Su modo de empleo es similar al de la leña tradicional.



Figura 1 Briquetas de aserrín, creación propia.

1.4 Principales características físicas y químicas de las briquetas

1.4.1 Forma y tamaño

La forma de las briquetas puede ser muy variable y depende de la maquinaria utilizada en su fabricación. Sin embargo, casi todas las briquetas fabricadas en la actualidad son de forma cilíndrica. También, una forma común de las briquetas es la de sección octogonal con un hueco redondo en el centro, con esta forma de briquetas se consigue una ignición más rápida, esto puede resultar ventajoso o perjudicial (dependiendo del objetivo buscado), otra forma es la sección rectangular, ligeramente redondeada en las cuatro esquinas lo que impide la desintegración con los golpes. Este tipo de briquetas arde más despacio, pero se almacena mucho mejor pues ocupan menos volumen a igualdad de peso que el tipo cilíndrico o el de prisma octogonal con huecos. (Francisco Martín, 1994). El tamaño de las briquetas varía dependiendo del uso que se le dará y la máquina briquetadora que usará para fabricarlas. La máquina define el grosor y ancho de la briqueta mientras que el productor definirá el largo de la briqueta.

1.4.2 Densidad

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.

Una desventaja del uso de biomasa como combustible se deriva de su baja densidad física y energética. Por eso es tan importante su densificación. La densificación de la biomasa se puede definir como su compresión o compactación, para disminuir los espacios vacíos entre las partículas y dentro de las partículas.

El objetivo final del proceso de briquetado o prensado es siempre el mismo: obtener un producto final de mayor densidad que los productos iniciales. Al tener mayor densidad este producto se transportará ocupando menos volumen (a igual peso) que las leñas y astillas y será más sencilla su manipulación.

Los factores que influyen en la densidad de las briquetas son de dos tipos (Francisco Martín, 1994):

- La materia prima empleada: Cuanto mayor sea la densidad de la materia prima mayor será la densidad del producto final.
- La presión ejercida en el proceso de fabricación: Las presiones de compactación son variables, dependiendo de la maquina empleada, a mayor presión, mayor densidad lograda en el producto final.

1.4.3 Humedad

La humedad de la briketa es una característica que está en función del proceso de secado que sigue el aserrín. Este proceso de secado puede ser al ambiente o medio horno. Para el proceso de briquetado que sufre la materia prima se suelen utilizar partículas con una humedad menor de 12 % y además en este proceso se seca aún más la partícula; al final la humedad de la briketa resulta ser de un 8 a 10 % cuando se seca. (Francisco Martín, 1994)

Posteriormente puede ocurrir que según (Marcos García, 2014):

- Si, las briquetas son envasadas en bolsas plásticas, ya no absorben humedad del ambiente y su humedad solo aumente levemente debido al aire encerrado en la bolsa plástica.
- Si, las briquetas al igual que la madera tienen una propiedad llamada higroscopia, estas absorben agua del medio circundante, sin embargo, durante el proceso de prensado de la briketa, se genera calentamiento causado por la fricción en la superficie lateral exterior que produce un endurecimiento en la briketa, este proceso origina que en el exterior de la briketa aparezca una fina “película plástica”, que impide la absorción de humedad al interior del producto. Esta característica es muy importante debido a que el poder calorífico de cualquier biocombustible forestal disminuye al aumentar la humedad del mismo.

1.4.4 Composición de la briqueta

La composición dependerá del material utilizado en su constitución. Si se emplean aditivos habrá de tenerse en cuenta la proporción de los mismos. Lo ideal es conocer los porcentajes (en peso) de la 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 de briquetas. (Francisco Martín, 1994)

1.4.5 Variables de inflamabilidad y combustibilidad

El tiempo de inflamabilidad de las briquetas es similar o ligeramente superior al de las leñas. Las leñas presentan temperaturas y tiempos de inflamabilidad muy variables, pues dependen de la existencia o no de corteza, el tipo de corteza, el porcentaje de corteza y la disposición de la leña respecto al tiro del hogar o la superficie específica de la leña. La temperatura de inflamabilidad es ligeramente superior en las briquetas que en las astillas. (Pablo Amigo, 2011)

Una de las formas más comunes para la obtención de energía de la biomasa es la combustión directa, la quema de un combustible es el proceso fisicoquímico complejo, durante el cual los componentes inflamables se combinan con el oxígeno liberando una determinada cantidad de calor. Para que la combustión se produzca en todo el volumen debe existir además del oxígeno (puro o del aire) una temperatura de auto-ignición pues de lo contrario la llama se extingue y se detiene el proceso de combustión. (Pablo Amigo, 2011)

1.4.6 Poder calorífico

Se puede definir lo que es poder calorífico de un combustible como: la cantidad de calor producido, o generado, por la combustión completa de la unidad de combustible en cuestión, suponiendo que los productos de la combustión se enfrían hasta la temperatura final. (Paz Garate, 2002)

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

poderes caloríficos señalan combustibles más discretos. El poder calorífico depende fundamentalmente de la composición química del combustible. (Barahona, 2011)

Para el caso de las briquetas, el poder calorífico está en función del material del cual está compuesto. Si la briqueta está fabricada solo de madera sin aditivos, es de suponer que el poder calorífico sería igual al de madera que la conforma, en cambio, sí para la fabricación se usa algún tipo de aditivo o se añade otro componente, entonces, se deberá de medir el poder calorífico para cada compuesto.

1.4.6.1 Tipos de poderes caloríficos

Como ya se ha mencionado el poder calorífico es una de las principales características de un combustible, el cual se define como la cantidad de energía (kJ o Kcal) que produce la combustión de 1 kilogramo del mismo (Portillo, 2018). El poder calorífico de un mismo combustible no cambia de valor; sin embargo, existen diferentes formas de medir el calor generado al arder. En la práctica se ha definido dos valores: poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI) (Cámara, 2017).

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

1.4.6.2 Determinación del poder calorífico

La determinación del poder calorífico de las briquetas se realizó a través de un método práctico, el cual consiste en el empleo de calorímetros mediante los cuales se puede determinar en forma directa en el laboratorio el poder calorífico de los combustibles. Los métodos calorímetros consisten en quemar una cierta cantidad de combustible y medir la cantidad de calor producida a través de la energía térmica ganada por un líquido conocido (agua), la cual puede estar contenida en un recipiente o permanecer en continua circulación durante el proceso.

1.5 Ventajas del uso de briquetas

- Son un combustible limpio y eficaz.
- Los restos de madera, virutas, etc., son desechos que ocupan un valioso espacio que gracias a las briquetas compactas se reducen los gastos de almacenaje y de transporte.
- Poseen un elevado rendimiento de combustible quemado con valores de hasta el 98%. No contiene ningún componente o aditivo tóxico
- Ecológicamente son consideradas, una energía totalmente limpia y proviene de un recurso renovable.
- Las briquetas arden con una mínima cantidad de humo, no se disparan y no chispean.
- Tienen un amplio ámbito de aplicación y pueden utilizarse para todos los tipos de quemadores, calderas, se encienden bien en las chimeneas y estufas.

1.6 Descripción de la cocina eco-barril

En la actualidad en Nicaragua se están desarrollando muchos proyectos de cocinas mejoradas para la reducción de la contaminación en el interior de las viviendas y mejorar la calidad de vida de los usuarios. Las cocinas eco-barril son cocinas que no contaminan el medio ambiente circundante, no presentan exposición de humos por la leña a las personas que las utilizan, no ahúman las casas y ahorran hasta el 50% de leña.

Este tipo de cocinas es excelente para la elaboración de nacatamales, sopas, vaho o cualquier alimento que se cocine en peroles de mediano o gran tamaño, ovalados o fondo plano. El consumo de leña aproximadamente es del 50% menos que el usado en una cocina de fuego abierto, en su interior va relleno de cemento gris y piedra poma recubierta de ladrillos refractarios, lo que permite mayor concentración de calor en el centro de la cocina (PROLEÑA, 2018).

1.7 Descripción de leña de Pithecellobium Arboreum (Quebracho blanco)

El árbol de Lorito de hoja perenne, el cual por lo general crece a una altura de 45 pies o mayor; se caracteriza por su grueso tronco de color marrón oscuro a rojizo y corteza lisa o escamosa. La corona es redonda, ancha, de gran difusión y moderadamente denso. Las ramas jóvenes son ligeramente peludas, llegando a ser suaves con la edad. (TREEWORLD WHOLESale, 2018)

Es una madera de densidad media, contracción volumétrica total moderada, con una relación de contracciones favorables; sus propiedades mecánicas se clasifican de medias a altas; durante el secado presenta defectos leves (curvatura y torcedura); moderadamente resistente al ataque de hongos e insectos; fácil de impregnar con productos preservantes en albura (capa exterior de la leña) y difícil en duramen (parte interna de la leña); fácil en sus propiedades de trabajabilidad. (Herrera Alegría & Morales Vargas , 1993)

El quebracho blanco (*Pithecellobium Arboreum*) tiene un poder calorífico de 7300 Kcal. / Kg (Taramasco, 2008), el cual será tomado como referencia para cumplir los objetivos antes propuestos.

1.8 Descripción de la prueba de ebullición de agua (WBT)

Este test está diseñado para calcular el rendimiento energético de la cocina en términos de transferencia de calor y eficiencia de la combustión. Permite determinar la eficiencia del proceso mediante el cual una cocina emplea la energía contenida en el combustible en calentar el agua una olla.

La prueba de ebullición de agua (WBT) por sus siglas en Ingles, consta de tres fases que se realizan de manera consecutiva una a la otra. Estas fases se describen a continuación y se muestran en la Figura 2.

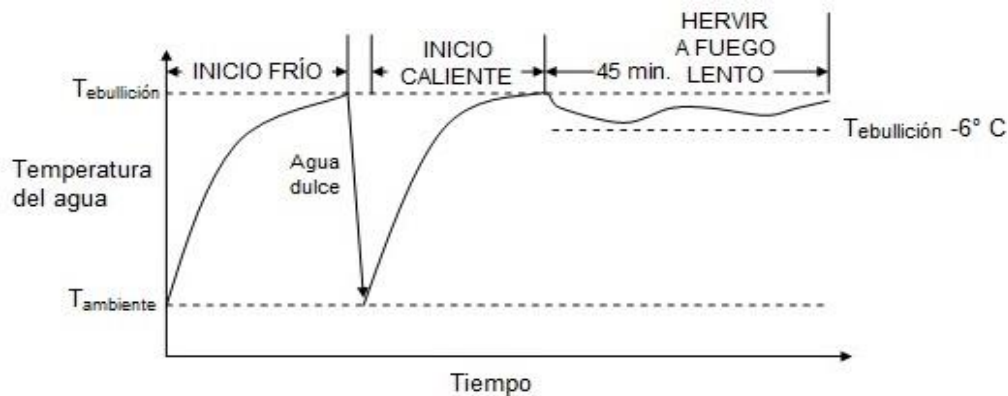


Figura 2 Temperatura durante las tres fases de la prueba de ebullición [5]

1.8.1 Fase 1: Inicio en Frío de Alto Poder (IFAP)

En esta fase se comienza con la cocina a temperatura ambiente y se utilizan 4 Kg de combustible previamente pesado para hervir una cantidad medida de agua en una olla estándar. Luego se reemplaza el agua hervida con una nueva olla de agua a temperatura ambiente para realizar la segunda fase.

1.8.2 Fase 2: Inicio en Caliente de Alto Poder (ICAP)

Esta fase se lleva a cabo después de la primera fase, mientras la cocina está caliente. Una vez más se utiliza una cantidad de combustible de 4 Kg previamente pesado para hervir una cantidad medida de agua en la olla estándar. Al repetir la prueba con una estufa caliente ayuda a identificar las diferencias en el rendimiento entre una estufa cuando esta fría y cuando está caliente. Esto es importante para

las estufas con elevada masa térmica, ya que las mismas pueden mantenerse calientes durante la práctica.

1.8.3 Fase 3: Fuego Lento (FL)

Esta fase proporciona la cantidad de combustible requerido para 5 litros de agua y por debajo del punto de ebullición durante 45 minutos. Este paso simula el tiempo de cocción de las legumbres o leguminosas que son comunes en gran parte del mundo.

II. Metodología y Desarrollo del Tema

2.1 Fabricación de briquetas de aserrín

Se elaboraron dos tipos briquetas para las cuales se usó como aglutinante el papel periódico en la primera muestra y en la segunda almidón de yuca de manera independiente, con diferentes proporciones de mezclas para su posterior evaluación. Para la elaboración de cada una de las briquetas se siguieron los siguientes pasos mostrados (Ver Figura 3):

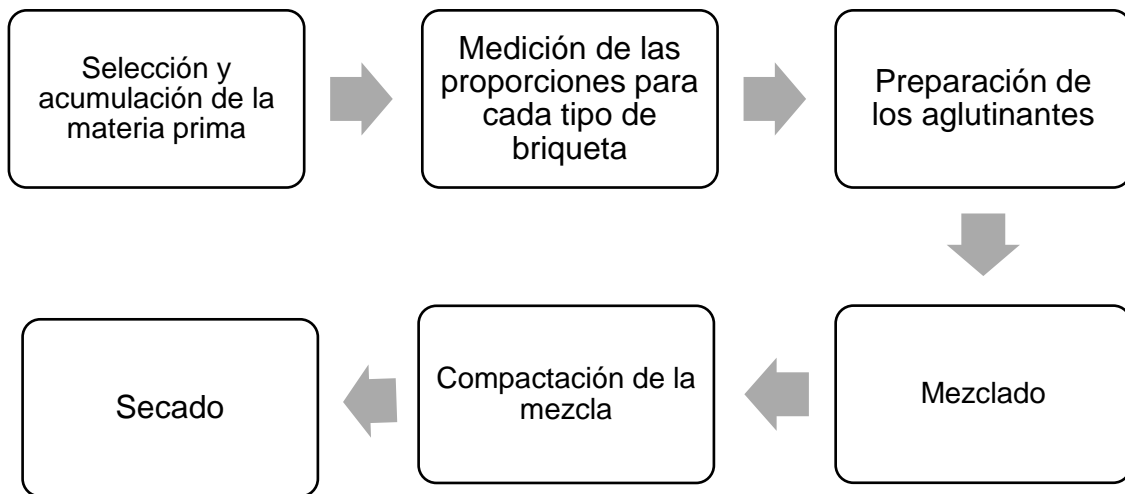


Figura 3 Diagrama de flujo para fabricación de briquetas de aserrín

2.1.1 Selección y acumulación de la materia prima

El aserrín que fue usado para la fabricación de las briquetas procede del Programa Institucional de la madera PIMA ubicado en el recinto universitario Pedro Arauz Palacio de la Universidad Nacional de Ingeniería en el cual se trabaja con madera para la fabricación de diferentes tipos de muebles. El aserrín que se genera de los diferentes trabajos con la madera se recoge y acumula en las afueras, haciendo que se combinen diferentes tipos de maderas e imposibilitando tener una clasificación exacta de cada tipo de aserrín, lo cual resulta conveniente tomando en cuenta que nuestro propósito es que esta materia prima provenga de aserríos y así tendremos lecturas más acertadas a la realidad.

El aserrín utilizado fue pasado por dos cribas (Ver **Anexo 1**) para obtener un grano con un tamaño determinado, que oscila entre 0.5 y 1 cm de diámetro; la primera criba fue para depurar las virutas más grandes del aserrín ya que estas impedirían que la briqueta se compactara correctamente debido a su tamaño y también no se obtendría una mezcla homogénea, la segunda criba fue usada para eliminar el polvo fino que contiene el aserrín ya que este hace que se dificulte el encendido de este combustible debido a que no permite el paso del aire, consiguiendo un grano de aserrín que permitió obtener briquetas homogéneas lo cual facilitó la experimentación con ellas.

2.1.2 Medición de las proporciones para cada tipo de briqueta

Es importante tomar en cuenta el peso de cada componente y la cantidad que se agregara a la mezcla, se realizaron diferentes mezclas pretendiendo realizar una comparativa para determinar cuál porcentaje de materia prima y de aglutinante es óptimo para la elaboración de las briquetas (Ver **Anexo 2**).

2.1.3 Preparación de los aglutinantes

En este proceso la preparación de los aglutinantes se realiza de manera diferente de acuerdo al tipo de aglutinante para cada briqueta.

2.1.3.4 Papel periódico

El papel periódico para poder ser usado en la fabricación de briquetas como aglutinante tuvo que ser triturado en trozos pequeños y luego dejarse reposar en agua durante un periodo de 2 horas como mínimo para dar una consistencia pastosa y poder ser usado (Ver **Anexo 3**). El agua no es aglutinante, pero el hecho de añadir agua al papel periódico y posteriormente mezclarlo con el aserrín, hizo que ayudara a aumentar la adhesión de los componentes de la briqueta y la presión de la materia prima en los agujeros de la matriz.

2.1.3.5 Almidón

El almidón de yuca para ser usado en la fabricación de briquetas como aglutinante, tuvo que ser mezclado en agua caliente (Ver **Anexo 4**) esto hace que el almidón espese y pueda funcionar como un adhesivo debido a su alto nivel de glucosa.

2.1.4 Mezclado

Para el mezclado se utilizó un recipiente plástico, en el cual se agregó el aserrín y el aglutinante según cada tipo y se removió hasta obtener una consistencia homogénea. (Ver **Anexo 5**)

2.1.5 Compactación de la mezcla

Se utilizó una prensa la cual tiene tres matrices con forma cilíndrica, que posee un alto de 12 cm, con 13 cm de diámetro y un cilindro en el centro de 4 cm de diámetro y es accionada con un gato hidráulico de 2 toneladas (Ver **Anexo 6**). Una vez prensada la mezcla obtuvimos una briqueta con forma cilíndrica y con un agujero en el centro, se introdujo a cada matriz 3 libras de mezcla y una vez compactado el peso se redujo a 1.5 libras.

2.1.6 Secado

Para ambos tipos de briquetas hay diferentes formas de secado entre estos: horno eléctrico, secador solar o por secado natural, se optó por el secador solar exponiendo las briquetas a radiación solar para eliminar la humedad de las mismas. El tiempo para el secado de las briquetas de aserrín y papel fue de 3 días aproximadamente con un peso de 0.5 libras cada una, mientras las de aserrín y almidón se secaron en aproximadamente 7 días, pesando 0.7 libras cada cilindro, ambos tipos tienen de 5 a 10 % de humedad (Ver **Anexo 7**).

2.2 Etapa de pre-evaluación de las briquetas

Esta etapa se tomó en cuenta para la evaluación final, tanto en las briquetas de papel periódico como las de almidón de yuca. Antes de seleccionar las briquetas adecuadas se realizaron dos pruebas importantes para la selección y no hacer una evaluación en vano. Las dos pruebas se realizaron de la siguiente manera:

2.1.1 Pruebas físicas

Esta prueba sirvió para saber que briquetas de acuerdo a su proporción de aserrín y aglutinante conservaban su estructura al ser manipuladas, transportadas y estibadas. Esto se calificó de la siguiente manera:

- **Excelente:** Cuando la briketa en el momento de su manipulación es estable y no presenta desprendimiento de material.
- **Regular:** Cuando la briketa al ser manipulada su estructura no es tan estable y ocurra desprendimiento de material, pero mantenga su forma.
- **Malo:** Cuando la estructura no es estable, se deshaga y rompa con facilidad.

2.1.2 Pruebas de encendido

Esta prueba sirvió para medir la facilidad que tienen las briquetas en encender para lo cual se utilizó como cámara de combustión la cocina eco-barril (Ver **Anexo 8**) y como combustible de ignición keroseno, igual para todas las briquetas. Esto se calificó de la siguiente manera:

- **Enciende:** Cuando al quemarse la cama de las briquetas quedan encendida por un tiempo considerable hasta consumirse.
- **No enciende:** Cuando al quemarse la cama las briquetas no encienden o enciendan y se apaguen sin quemarse por completo.

2.2 Análisis del poder calorífico de las briquetas

Para realizar el análisis del poder calorífico de las briquetas se utilizó una bomba calorimétrica para la cual se seleccionaron dos probetas de cada tipo de briketa tanto de las de aserrín con papel y aserrín con almidón de yuca. Estas pruebas fueron realizadas en el laboratorio de Programa de vinculación e innovación tecnológica “LINEA BIOMASA” ubicado en el recinto universitario Pedro Arauz Palacio de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Para la determinación del poder calorífico se siguió el procedimiento del equipo CALORIMAT I.S.Co. (Italy); Tipo: CBM, 220V según el método de la norma ASTM D2015-89(00).

2.2.1 Equipos

A continuación, se describen todos los equipos que fueron necesarios para efectuar una medición completa del poder calorífico de las briquetas en una bomba calorimétrica.

2.2.1.1 Bomba de calorimétrica

Se empleó una bomba calorimétrica de Mahler (Figura 4), la cual permite determinar el poder calorífico específico de una muestra, llevando a cabo su combustión en atmosfera de oxígeno. Datos técnicos: Marca: I.S.Co. Via Cesare Balbo, 6. Milano Italia. Tipo: CBM; 220V~; Max. 150V.A. No.: 24526, cilindro de acero inoxidable con tapa roscada para cierre hermético, 7cm de diámetro por 16cm de alto. (No. 160, ACC.AISI.304, PRESS.300.BAR, 1.2.93).



Figura 4 Bomba calorimétrica de Mahler

2.2.1.2 Prensa

El prensado de las muestras (Figura 5) de las briquetas tiene como objetivo ayudar a que sea más fácil la combustión completa de las muestras y, por tanto, facilitar la adquisición de los datos reales.



Figura 5 Prensa

2.2.1.3 Balanza analítica y molino

Para la medición de la masa de las muestras a pesar, para el posterior prensado se usó un equipo de medida que consiste en una balanza de precisión (Figura 6) Re-Zero con una precisión de 0.01 mg. También se usó un molino (Figura 6) para triturar las muestras en polvo fino para introducirlo en la prensa.



Figura 6 Balanza de precisión Re-Zero y Molino

2.2.1.4 Hilo de ignición

El hilo de ignición consiste en un hilo (Figura 7) de hierro PHYWE 06104-00 (diámetro de 0.2 mm, longitud de 100 m y resistencia de $4\Omega/m$). Dicho hilo se calienta por una corriente elevada hasta que llega a fundirse, esto conlleva a que se den las condiciones necesarias para desatar una reacción en cadena dando lugar a una combustión en el interior de la bomba calorimétrica.



Figura 7 Hilo de ignición

2.2.1.5 Muestras

Se seleccionaron dos muestras de briquetas tanto de aserrín y papel, como de aserrín y almidón (Figura 8), de la fase de pre-evaluación para realizar las pruebas de calorimetría. Las muestras que se seleccionaron se sometieron a calefacción ($104^\circ - 107^\circ\text{C}$) por 24 horas y luego se pasaron a un desecador hasta el momento de realizar las pruebas.



Figura 8 Muestra de briquetas de aserrín y papel y muestra de briquetas de aserrín y almidón

2.2.2 Procedimiento para la determinación del poder calorífico para una bomba de Mahler

El procedimiento está basado en colocar una determinada cantidad de combustible, al cual se va a realizar la prueba en un crisol para combustible (si el combustible es sólido, se deberá colocar en forma de pastilla) dentro de la bomba. En el crisol se introduce una bobina de alambre fino. La bomba se carga con oxígeno a presión. Cuando pasa una corriente eléctrica por el alambre el combustible se enciende. La bomba está rodeada por una camisa de agua con el fin de absorber el calor desarrollado por la combustión.

Sin embargo, el calor que absorbe el agua no es el poder calorífico del combustible, debido a diversos factores los cuales se mencionan a continuación:

- La bomba en si absorbe cierto calor.
- Hay intercambio de calor con la camisa externa.
- El alambre de ignición, libera cierta energía.
- Los productos de combustión no se enfrían a la temperatura original.
- Debido a que la combustión se produce en presencia de oxígeno, se alcanzan altas temperaturas, lo que resulta en formación de ácido nítrico y sulfúrico, los que no se producirán en el proceso de combustión normal.

Al aplicar la ecuación de la primera ley de la termodinámica, al proceso de combustión a volumen constante y teniendo en cuenta todos estos factores, se obtiene la ecuación que permite calcular el poder calorífico del compuesto:

$$\Delta U_{Muestra} = \frac{(CV * \Delta T) - (m_{Fe} * \Delta U_{Fe})}{m_{Muestra}} \quad (1)$$

$$m_{Fe}: m_i - m_f \quad (2)$$

$$m_{Muestra}: m_p - m_i \quad (3)$$

$$mp: mg + mi$$

(4)

Donde:

$\Delta U_{\text{Muestra}}$: Poder calorífico del compuesto (KJ/g)

CV: Capacidad térmica del calorímetro (KJ/°C)

ΔT : Variación de la temperatura (°C)

m_{Fe} : Masa del hilo del hierro combustionado (g)

m_i : Masa del hilo de hierro inicial (g)

m_f : Masa del residuo del hilo final (g)

ΔU_{Fe} : Calor de combustión del hilo de hierro (KJ/g)

m_{Muestra} : Masa de la muestra combustionada (g)

m_p : Masa de la pastilla (g)

m_g : Masa de la muestra (g)

2.2.3 Protocolo de trabajo usado en la bomba calorimétrica Mahler

- Se puso 2000 ml de agua en la camisa externa, la cual debe estar a temperatura ambiente.
- Se colocó una cantidad de las muestras de 0.5097 g en el crisol.
- Se cortó una longitud de alambre de ignición de 15 cm con un peso de 0.0069 g y se instaló a modo de bobina. Esta debe tocar las muestras, pero no el crisol.
- Se armó la bomba con cuidado para no derramar el combustible fuera del crisol por sacudir o golpear la bomba.
- Se cargó la bomba con oxígeno a una presión de aproximadamente 25 kg/cm². Se colocó la bomba en el recipiente interior al cual se le colocó agua hasta cubrir cierto nivel de la bomba. Posteriormente se instaló el termómetro y el agitador. El termómetro se sumerge por lo menos 75 mm en el agua y a no menos de 12 mm de la bomba.

- Se terminaron de instalar todas las tapas del calorímetro, se puso en funcionamiento el agitador y se dejó transcurrir 3 a 4 minutos para que se uniformizara la temperatura del agua en el recipiente.
- Una vez que se estabilizó la temperatura se hizo circular la corriente eléctrica por el alambre, encendiendo el combustible y a continuación se procedió a tomar lecturas de temperaturas cada medio minuto, durante cinco minutos. Estas lecturas se utilizaron para calcular la pérdida de calor a la camisa externa.
- En este paso se estuvo muy alerta con el termómetro, porque el aumento de temperatura es muy grande inmediatamente después del encendido.
- Una vez tomados todos los datos se sacó la bomba del calorímetro, se soltaron los gases y se desarmó la bomba. Posteriormente se juntaron y pesaron el alambre del fusible que quedó.

A continuación, se muestra en la Figura 9 la instalación de la bomba calorimétrica Mahler con sus componentes. La cual consta de un recipiente cromado (J) de una capacidad de 3 litros aproximadamente, un agitador (K) y un termómetro (L). Todo el conjunto se dispone dentro de un recipiente de doble pared térmicamente aislado (LL).

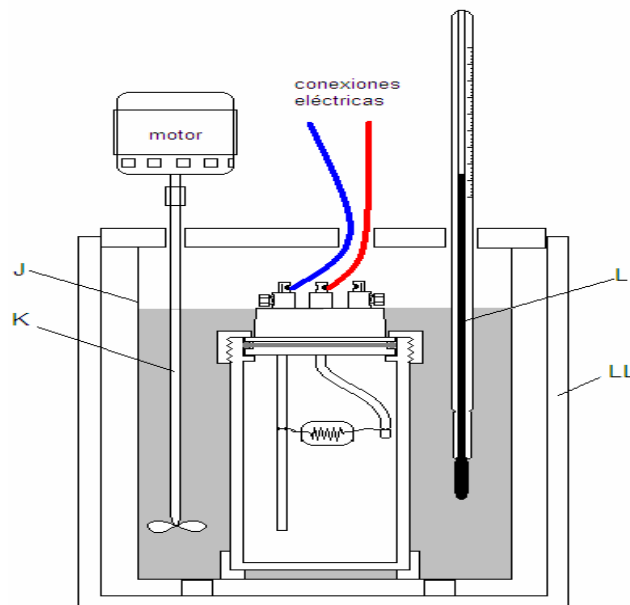


Figura 9 Esquema de la bomba Mahler

2.3 Etapa de evaluación final de las briquetas

Esta etapa se realizó usando el modelo de pruebas de ebullición de agua (Water Boiling Test, (WBT) Versión 4.2.3), el principal objetivo de esta prueba fue evaluar el rendimiento de cada briketa en la cocina eco-barril por medio del cálculo de la eficiencia térmica de la cocina con cada tipo de briquetas para poder realizar las comparaciones con la leña del *Pithecellobium Arboreum* (Quebracho blanco).

2.3.1 Materiales necesarios para la prueba

- Estufa (eco-barril)
- Combustible (4 kg de briquetas de cada tipo)
- Iniciador de fuego
- Equipos de seguridad: mandil, guantes de alta temperatura, lentes de protección, máscara contra humo, zapatos cerrados y pantalón
- Medidor de humedad
- Termómetro
- Reloj con cronómetro
- Encendedor o cerillos
- Recogedor y charola de metal para el carbón
- Removedor de brasas
- Balanza digital resistente al calor
- Formato para el WBT
- Ollas con capacidad para 5 L de agua
- Ahogador de fuego

2.3.2 Protocolo usado para las pruebas de ebullición de agua (WBT)

2.3.2.1 Fase preliminar

- Se debe de verificar que todos los materiales se encuentren el laboratorio.
- Se registran la temperatura y humedad del ambiente,

- Se mide la humedad del combustible con el higrómetro (al menos 9 muestras) y se registra.
- Se registra el peso de la charola para carbón.
- Se registra el peso del combustible que se va a utilizar para cada fase de la prueba: 4 kg para el IFAP, 4 kg ICAP y 4 kg para el FL.
- Se registra el peso de la olla vacía.
- Se registra el peso del material de ignición.

2.3.2.2 Primera fase Inicio en Frio de Alto Poder (IFAP)

Para la realización de esta fase la cocina debe estar fría, o sea que no se haya usado recientemente, para que su temperatura sea la más cercana a la temperatura ambiente posible. Se realiza el siguiente procedimiento:

- Pesar la olla vacía, el combustible que se va a usar y el material de ignición.
- Llenar la olla con 5 litros de agua a temperatura ambiente y registrar el peso de la olla con agua.
- Posicionar el termómetro en la olla con agua.
- Introducir el material de ignición en la cámara de combustión de forma que se permita el paso del aire.
- Se inicia el fuego y una vez encendido se coloca el combustible y se registra la hora de inicio del fuego.
- Una vez que la cámara de combustión está encendida, se coloca la olla con el termómetro y se debe mantener el fuego en alto poder, durante la prueba y alimentarla cada dos o tres minutos. La frecuencia de alimentación y la cantidad de combustible dependerá del comportamiento de la cámara de combustión y de la destreza del responsable o técnico.
- Cuando el agua de la olla llegue a la temperatura de ebullición se registran el tiempo y la temperatura de la olla. En este paso inicia la cuenta de 10 minutos para comenzar con la fase 2, Inicio en caliente de alto poder (ICAP).
- Seguidamente registra el peso de las ollas.

- Rápidamente retirar de la cámara de combustión el combustible no quemado y las cenizas e introducirlo en la charola para carbón, pesar el combustible que se introdujo en la charola y el combustible no quemado.
- Se limpia y ordena el área del trabajo.

2.3.2.3 Segunda fase Inicio en Caliente de Alto Poder (ICAP)

Los pasos que se siguieron para la fase ICAP son:

- Esta fase se debe de realizar inmediatamente después de la primera fase con la cocina aún caliente.
- Se toma el peso de la olla vacía y posteriormente se llena la olla con 5 litros de agua nuevamente se coloca el termómetro y se registra la temperatura del agua en la olla.
- Se introduce el material de ignición a la cámara de combustión. Se realiza un arreglo con trozos de combustible que permita el paso del aire,
- Se enciende nuevamente el fuego y a partir de este paso se comienza a contar el tiempo.
- Una vez que la cámara de combustión está encendida, se coloca la olla con el termómetro.
- Se registra la hora de encendido del fuego.
- En esta fase, así como la anterior se debe de mantener la llama del fuego en alto poder durante toda la prueba.
- Una vez que el agua de la olla llegue a la temperatura de ebullición, se registran el tiempo y la temperatura de la olla. En este paso inicia la cuenta de 5 minutos para comenzar con la fase de fuego lento (FL).
- Retirar de la cámara de combustión el combustible no quemado y las cenizas e introducirlo en la charola para carbón, pesar el combustible que se introdujo en la charola y el combustible no quemado.

2.3.2.4 Tercera Fase de Fuego Lento (FL)

Esta fase es una continuación directa del Inicio en caliente de alto poder (ICAP).

Los pasos para la fase de FL son:

- Se colocan nuevamente la olla usada para la fase de Inicio en caliente de alto poder (ICAP) sobre la superficie de cocción sin enfriar ni agregar agua y se posicionan los termómetros nuevamente.
- Se comienzan con los datos finales de la prueba de Inicio en caliente de alto poder (ICAP) para luego reducir la llama y mantener una combustión constante y homogénea. Esta fase dura 45 minutos.
- El agua debe mantenerse a 3°C debajo de la temperatura de ebullición y puede oscilar entre $\pm 3^{\circ}\text{C}$.
- Cumplidos los 45 minutos, se registran la hora y la temperatura de la olla.
- Se retira de la cámara de combustión el combustible no quemado y las cenizas e introducirlo en la charola para carbón, pesar el combustible que se introdujo en la charola y el combustible no quemado.
- Se registra el peso de la olla. Se limpia y ordena el área del trabajo.

2.3.3 Valores de referencia y variables

Según los resultados de la prueba se evaluarán la eficiencia térmica y las variables de tiempo para llevar a ebullición 5 litros de agua, combustible consumido, tasa de combustión y potencia de la estufa que se obtienen de la misma, para valorar el desempeño de las briquetas usando como referencia los datos que se muestran en la Tabla 1 conseguidos del trabajo monográfico “Evaluación energética de cocinas mejoradas a través de método Water Boiling Test 4.2.3” donde se evaluó la eficiencia térmica de la cocina con la leña el quebracho blanco, en dicho trabajo solo evaluaron las fases de inicio en frío e inicio en caliente por lo que en los resultados de esta investigación solo se muestran las comparaciones con estos valores.

Fase	Resultado	Unidad	Promedio
Fase 1 Inicio en frio de alto poder (IFAP)	Tiempo para llevar a ebullición 5L	min	33
	Eficiencia térmica	%	9.10%
	Combustible consumido	g/L	323
	Tasa de combustión	g/min	45
	Potencia de la estufa	KW	16
Fase 2 Inicio en caliente de alto poder (ICAP)	Tiempo para llevar a ebullición 5L	min	18
	Eficiencia térmica	%	11.10%
	Combustible consumido	g/L	203
	Tasa de combustión	g/min	56
	Potencia de la estufa	KW	20

Tabla 1 Resultados del WBT en las fases de inicio en frio de alto poder e inicio en caliente de alto poder. [17]

Para calcular la eficiencia de la cocina se aplicó la Tabla 2 donde se recolectan las principales variables de proceso para los cálculos posteriores:

Variable	Indicadores	Método de obtención de dato	Instrumentos
El tiempo para llevar a ebullición 5 litros de agua	Tiempo para alcanzar el punto de ebullición (min).	Este se calcula restando la hora de inicio y de fin de las fases IFAP e ICAP	Cronometro
La eficiencia térmica de la estufa (E_f)	Porcentaje (%)	Es el cociente de la energía útil otorgada a la olla con agua entre la energía total de entrada. Se calcula para las tres fases.	Ecuación (5)
El combustible consumido (m_{comb})	Masa del combustible quemado (Kg).	Es la diferencia de peso del combustible al inicial y al final de cada fase.	Balanza

La potencia de la estufa (Pt)	Potencia (KW)	Es la energía de entrada por unidad de tiempo (KW). Se calcula dividiendo la energía total de entrada entre el tiempo total de cada fase en segundos	Ecuación (9)
-------------------------------	---------------	--	--------------

Tabla 2 Variables a calcular en la prueba de ebullición de agua (WBT), creación propia.

2.3.4 Datos tomados durante la prueba

Los datos que se muestran en la Tabla 3 muestran las variables de medición de cada fase que son necesarias para la utilización de la hoja de Excel de la prueba de ebullición de agua (WBT) los cuales son tomados en las pruebas de laboratorio (Ver **Anexo 9**) y posteriormente procesadas en la hoja de cálculo de dicho programa.

Variable de medición	Unidad	Símbolo	Toma de dato
Poder calorífico superior	KJ/Kg	HHV	Calculado en pruebas de calorimetría
Contenido de humedad	%	MC	Medidor de humedad
Peso	g	P ₁	Pesa digital
Temperatura	°C	T ₁	Termómetro
Longitud	M	D	Cinta métrica
tiempo	min	t	Cronometro

Tabla 3 Variables tomadas durante la prueba de ebullición de agua (WBT), creación propia.

2.3.5 Formulas aplicadas

Los principales resultados del WBT se obtienen aplicado las siguientes Ecuaciones:

$$E f_t = \left(\frac{E_0}{E_e} \right) * 100 \quad (5)$$

$$E_e = (m_{comb})(PCI_{comb}) \quad (6)$$

$$E_0 = \left(4.18 \times 10^{-3} \frac{MJ}{Kg^{\circ}C} \right) (\Delta T)(m_{eb}) + \left(2.257 \frac{MJ}{Kg} \right) (m_{ev}) \quad (7)$$

$$\tau = \frac{m_{comb}}{(t_{eb})} \quad (8)$$

$$P_t = \frac{E_e}{(60)(t_{eb})} \quad (9)$$

Donde:

t_{eb} = Tiempo para alcanzar el punto de ebullición (min).

$E f_t$ = Eficiencia térmica (%)

m_{comb} = Masa del combustible quemado (Kg).

PCI_{comb} = Poder calorífico inferior del combustible (~ 18 MJ/kg de leña seca).

ΔT = Diferencia de temperatura en el agua, entre la inicial y la de ebullición (°C).

E_0 = Energía útil otorgada (MJ)

E_e = Energía total de entrada (MJ)

m_{ev} = Masa de agua evaporada (Kg).

m_{eb} = Masa de agua llevada al punto de ebullición (Kg).

τ = Tasa de combustión (Kg/min).

P_t = Potencia (KW)

III. Resultados

3.1 Resultados de la etapa de pre-evaluación de las briquetas

En esta etapa se presentan todos los tipos de briquetas con las diferentes proporciones que se fabricaron para determinar cuál de ellas pasaba a la etapa de evaluación final.

A continuación, se muestran en la Tabla 4 y Tabla 5 los resultados obtenidos de las pruebas físicas y pruebas de encendido correspondientemente.

# De briketa	% de aserrín	% de papel	% de almidón	Excelente	Regular	Malo
1	85	15				X
2	80	20			X	
3	75	25		X		
4	70	30		X		
5	95		5			X
6	90		10			X
7	83		17		X	
8	77		23		X	
9	70		30		X	

Tabla 4 Resultados de las pruebas físicas, creación propia

# De briqueta	% de aserrín	% de papel	% de almidón	Enciende	No enciende
1	85	15			X
2	80	20		X	
3	75	25		X	
4	70	30		X	
5	95		5		X
6	90		10		X
7	83		17	X	
8	77		23	X	
9	70		30	X	

Tabla 5 Resultados de la prueba de encendido, creación propia

Para elegir los tipos de briquetas que serán usados se tomó en cuenta los siguientes parámetros, que las briquetas al ser manipuladas, transportadas y estibadas conserven su estructura y a su vez ardan completamente conteniendo la menor cantidad de aglutinante posible para mantener una proporción de aserrín alto y asegurar un mayor poder calorífico.

Los tipos de briquetas seleccionados según la etapa de pre-evaluación fueron las siguientes:

- 75 % aserrín + 25 % papel
- 83 % aserrín + 17 % almidón

3.2 Resultado del análisis del poder calorífico de las briquetas

Las pruebas calorimétricas fueron realizadas para cada tipo de briqueta individual, en la Tabla 6 se exponen los valores obtenidos en cada uno de las muestras, los cuales son necesarios para los cálculos.

Muestra	Medición	Unidad	Valor
Aserrín y papel	Masa de la Muestra	g	0.5097
	Masa del hilo de hierro	g	0.0069
	Masa de la pastilla	g	0.5166
	Temperatura inicio de combustión	°C	24.45
	Temperatura después de la combustión	°C	25.67
	Capacidad Térmica del Calorímetro	KJ/°C	9.85750185
	Calor de combustión del hilo de hierro	KJ/g	6.68
Aserrín y almidón	Masa de la Muestra	g	0.5011
	Masa del hilo de hierro	g	0.007
	Masa de la pastilla	g	0.5081
	Temperatura inicio de combustión	°C	24.5
	Temperatura después de la combustión	°C	25.71
	Capacidad Térmica del Calorímetro	KJ/°C	9.85750185
	Calor de combustión del hilo de hierro	KJ/g	6.68

Tabla 6 Peso de las muestras, temperaturas iniciales y finales del proceso y capacidad calorífica del calorímetro Mahler, creación propia.

En la Tabla 7 y Tabla 8 se muestran la variación de temperatura a lo largo del tiempo para cada muestra y en la Figura 10 se muestra gráficamente la evolución de temperatura durante el proceso de combustión en cada uno de los ensayos realizados con el aserrín y el papel e igualmente aserrín y almidón.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
Inicio	25.45	3.5	25.53
0.5	24.50	4	25.57
1	24.70	4.5	25.60
1.5	25.00	5	25.65
2	25.20	5.5	25.66
2.5	25.35	6	25.67
3	25.45	6.5	25.67

Tabla 7 Incremento de la temperatura durante la combustión para las muestras de aserrín y papel, creación propia.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
Inicio	24.50	3.5	25.58
0.5	24.60	4	25.62
1	24.90	4.5	25.65
1.5	25.15	5	25.67
2	25.33	5.5	25.69
2.5	25.45	6	25.70
3	25.53	6.5	25.71

Tabla 8 Incremento de la temperatura durante la combustión para las muestras de aserrín y almidón, creación propia.

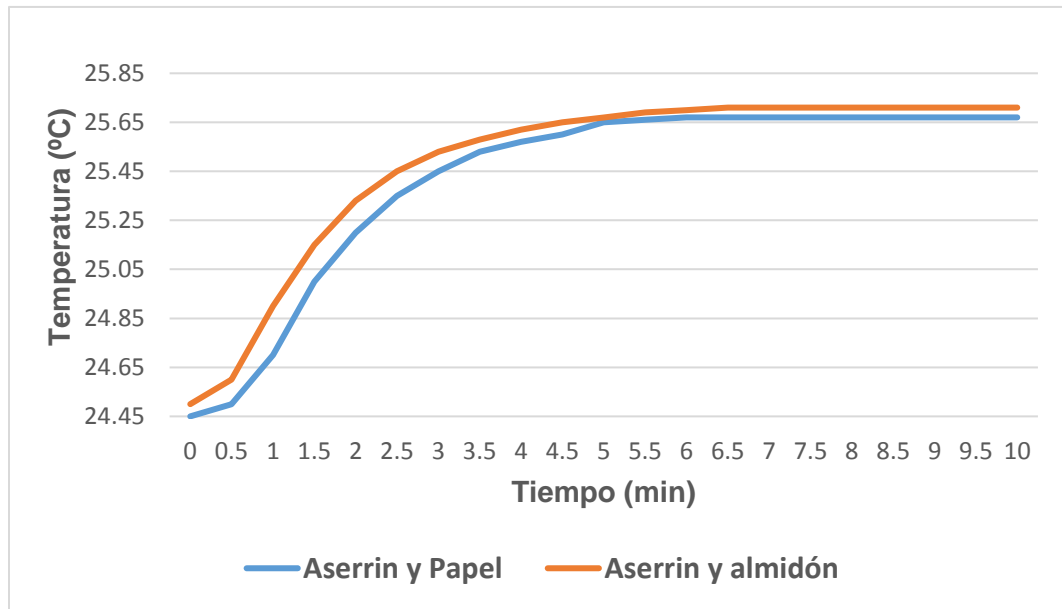


Figura 10 Variación de la temperatura con el tiempo durante la combustión en muestras de aserrín y papel y aserrín y almidón, creación propia.

Una vez obtenidos todos los datos se aplicó la Ecuación 1 para el cálculo del poder calorífico de las briquetas de aserrín y papel y también aserrín y almidón. En la Tabla 9 se muestran los datos usados en las fórmulas y los poderes caloríficos calculados para cada muestra.

Muestra	CV (KJ/°K)	ΔT (°C)	mFe (g)	ΔU_{Fe} (KJ/g)	mMuestra (g)	$\Delta u_{muestra}$ KJ/g
Aserrín y papel	9.85750185	1.22	0.0022	6.68	0.5097	23.57
Aserrín y almidón	9.85750185	1.21	0.0025	6.68	0.5011	23.77

Tabla 9 Resultados finales de la prueba calorimétrica, creación propia.

Los resultados obtenidos revela que el poder calorífico de las muestras de aserrín y papel es de 23.56 KJ/g un tanto inferior en comparación al del almidón que tiene un valor 23.77 KJ/g y respecto al quebracho con un valor de 30.5 kJ/g tal (Figura 11); esto debido a que en la fabricación de las briquetas se usa una combinación de varios tipos de maderas y por lo tanto existe una variación de calor entregado, otro aspecto que se debe tomar en cuenta es cómo influyen los aglutinantes usados a esta propiedad.

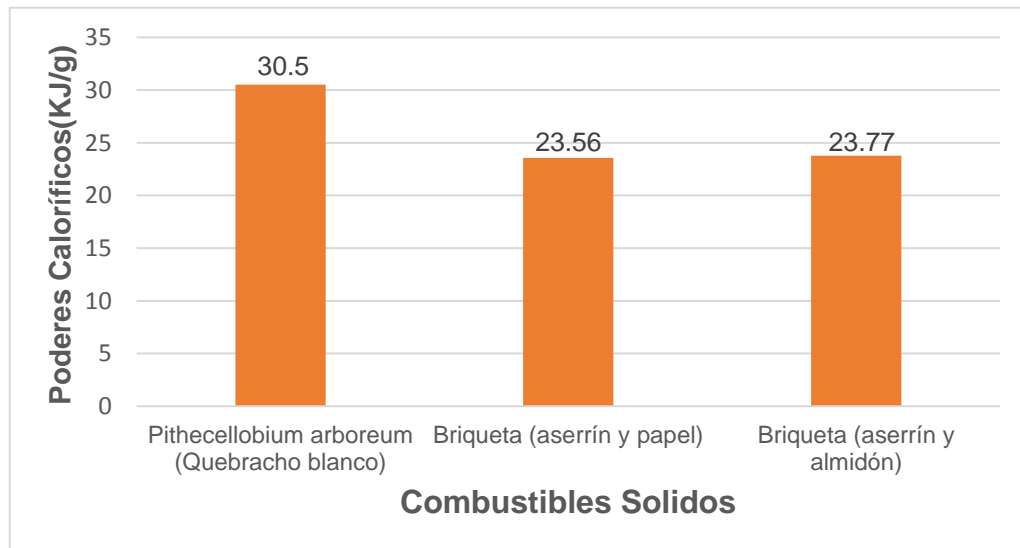


Figura 11 Comparación de Poderes Caloríficos de combustibles sólidos, creación propia.

3.1 Resultados de la etapa final de evaluación de las briquetas

Los datos de las pruebas de WBT se procesaron inicialmente en planillas de recolección de datos crudos que se muestran en el **Anexo 10** para luego ser ingresados en las hojas de Excel del WBT versión 4.2.3 (Ver **Anexo 11** y **Anexo 12**). La planilla del WBT entrega los resultados procesados para los indicadores más utilizados en las pruebas de cocinas limpias estos están reflejados en la Tabla 10 y Tabla 11.

Fase	Resultado	Unidad	Test 1	Test 2	Test 3	Promedio
Fase 1 Inicio en frio de alto poder (IFAP)	Tiempo para llevar a ebullición 5L	min	25	16	30	24
	Eficiencia térmica	%	5%	5%	7%	6%
	Combustible consumido	g/L	410	316	252	326
	Tasa de combustión	g/min	70	85	39	65
	Potencia de la estufa	KW	28	33	15	25
Fase 2 Inicio en caliente de alto poder (ICAP)	Tiempo para llevar a ebullición 5L	min	7	12	13	11
	Eficiencia térmica	%	10%	4%	5%	6%
	Combustible consumido	g/L	256	310	288	284
	Tasa de combustión	g/min	113	105	105	108
	Potencia de la estufa	KW	44	41	41	42
Fase 3 Fuego lento (FL)	Eficiencia térmica	%	8%	8%	8%	8%
	Combustible consumido	g/L	384	343	332	353
	Tasa de combustión	g/min	37	29	36	34
	Potencia de la estufa	KW	14	12	14	13

Tabla 10 Resultados del WBT por fases para las briquetas de aserrín y papel, creación propia.

Fase	Resultado	Unidad	Test 1	Test 2	Test 3	Promedio
Fase 1 Inicio en frio de alto poder (IFAP)	Tiempo para llevar a ebullición 5L	min	19	40	20	26
	Eficiencia térmica	%	5%	5%	7%	6%
	Combustible consumido	g/L	286	443	256	328
	Tasa de combustión	g/min	62	46	60	56
	Potencia de la estufa	KW	24	18	24	22
Fase 2 Inicio en caliente de alto poder (ICAP)	Tiempo para llevar a ebullición 5L	min	9	11	13	11
	Eficiencia térmica	%	9%	5%	5%	6%
	Combustible consumido	g/L	168	319	292	260
	Tasa de combustión	g/min	82	120	107	103
	Potencia de la estufa	KW	33	48	42	41
Fase 3 Fuego lento (FL)	Eficiencia térmica	%	8%	8%	8%	8%
	Combustible consumido	g/L	399	339	337	358
	Tasa de combustión	g/min	34	30	37	34
	Potencia de la estufa	KW	13	12	15	13

Tabla 11 Resultados del WBT por fases para las briquetas de aserrín y almidón, creación propia.

3.1.1 El tiempo para llevar a ebullición 5 litros de agua

En la Figura 12 se observa el tiempo para llevar a ebullición 5 litros de agua de cada tipo de briqueta en la cual se aprecia que el tiempo promedio para llevar a ebullición el agua usando quebracho blanco es mucho mayor en ambas fases que el tiempo de las briquetas esto se debe a que en ambas briquetas se tiene una mejor circulación del aire lo cual reduce el tiempo.

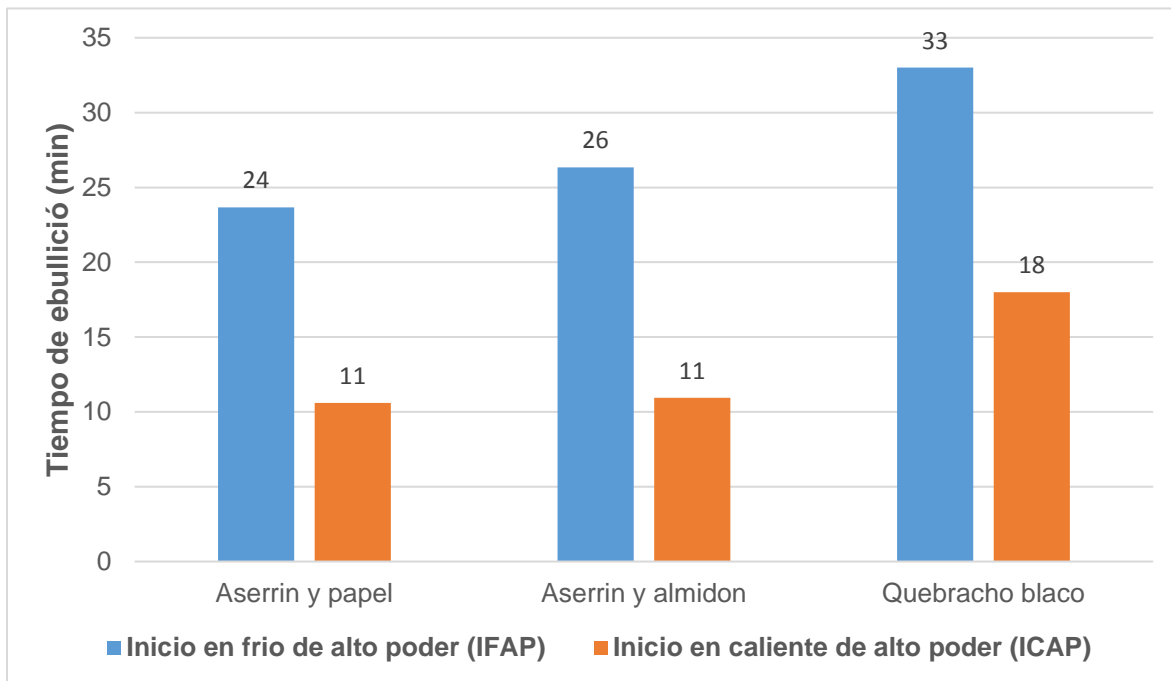


Figura 12 Comparación del Tiempo para llevar a ebullición 5 litros de agua, creación propia.

3.1.2 La eficiencia térmica de la estufa

Los resultados de la eficiencia térmica de la estufa (Figura 13), muestran un rendimiento bajo al utilizar las briquetas en la fase de inicio en frío de alto poder (IFAP) debido a que la cocina debe calentar toda su masa antes de entregar el calor al receptor que es la olla por lo que reduce la cantidad de calor transferible, pero una vez la cocina está caliente, la eficiencia térmica aumenta y mejora la eficiencia del proceso.

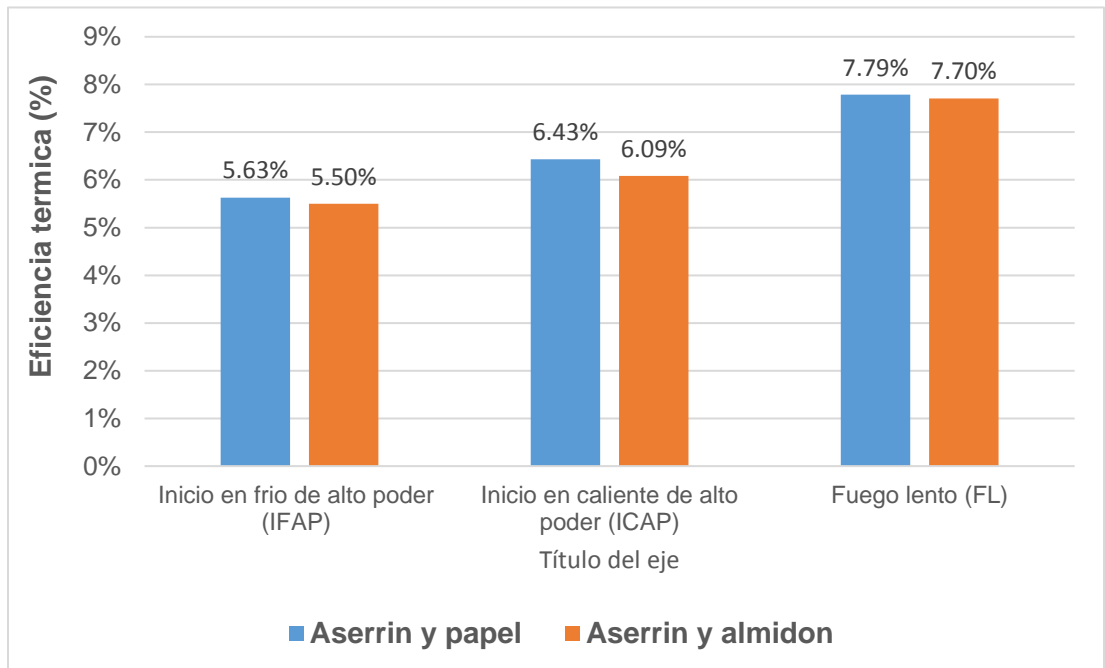


Figura 13 Eficiencia térmica de las briquetas en las tres fases de las pruebas de ebullición de agua (WBT), creación propia.

Sin embargo, la cocina presento poco desempeño en la fase de fuego lento dado que la eficiencia no alcanzo valores superiores a 7.79% para cada tipo de briqueta, lo que significa que, para usarse en tareas de cocción de baja intensidad térmica, la cocina necesitaría una mayor cantidad de combustible para poder mantener la temperatura deseada.

Como se observa en la Figura 14 la eficiencia de la cocina en la fase de inicio en frío de alto poder (IFAP) usando las briquetas de aserrín y papel y aserrín y almidón se obtuvo una eficiencia casi iguales pero en comparación a la leña el quebracho tuvieron un promedio de diferencia de 3.53% de más y en la fase de inicio en caliente de alto poder (ICAP) se obtuvo un mayor rendimiento de la cocina con las briquetas de aserrín y papel, sin embargo la leña del quebracho blanco siempre supero el valor de eficiencia en ambas fases y con ambos tipos de combustibles esto debido a que las briquetas tienden a retener más humedad resultando en una pérdida de energía aprovechable.

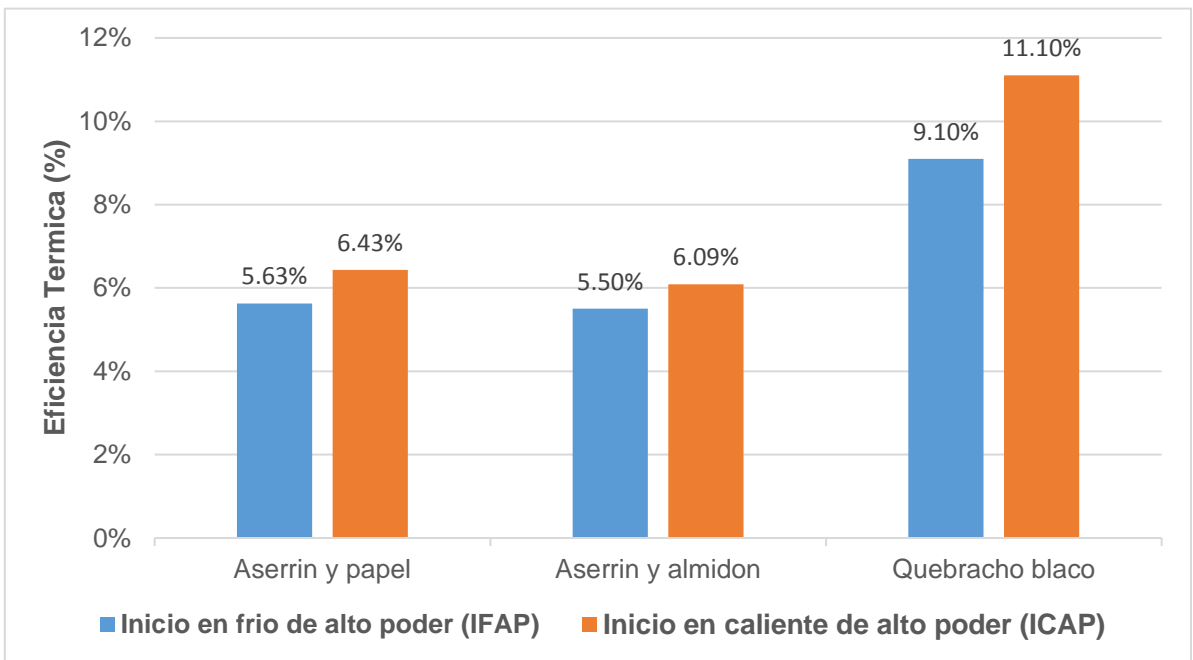


Figura 14 Comparación de Eficiencia térmica de briquetas Vs Quebracho blanco, creación propia.

3.1.3 El combustible consumido

El consumo de combustible (Figura 15) muestra que en las fases de inicio en caliente de alto poder (ICAP) el consumo de combustible disminuye debido a que como se mencionó anteriormente el desempeño de la cocina es mejor cuando la labor se efectúa ya estando caliente, que inicialmente estando completamente fría como en la fase de inicio en frío de alto poder (IFAP).

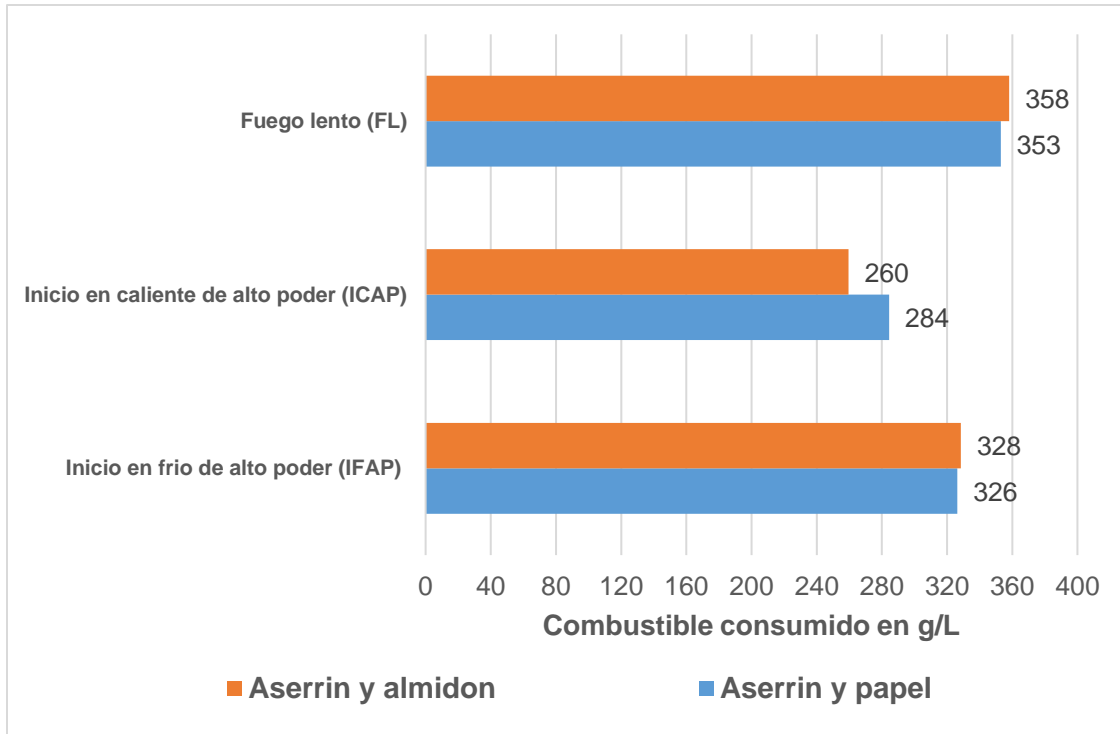


Figura 15 Combustible consumido en las tres fases del WBT de las briquetas, creación propia.

En cambio, el consumo de combustible incrementa cuando la cocina está en la fase de fuego lento, esto porque la cocina necesita una mayor cantidad de combustible para poder mantener la temperatura, mostrando que existe una relación que es inversamente proporcional entre la eficiencia térmica y el consumo de combustible.

Al comparar el consumo de combustible de los dos tipos de briquetas y con la leña del quebracho blanco en la fase de inicio en caliente de alto poder (ICAP), en donde como se mencionó anteriormente es la fase donde la cocina ya está caliente, se puede observar en la Figura 16 que cuando se tiene un menor consumo de combustible la eficiencia de la cocina es mayor, esto hace que en comparación con la leña el quebracho blanco, las briquetas tuvieron un menor desempeño en la cocina ya que se necesitaba alimentar más de combustible a la cocina para lograr llevar al punto de ebullición al agua.

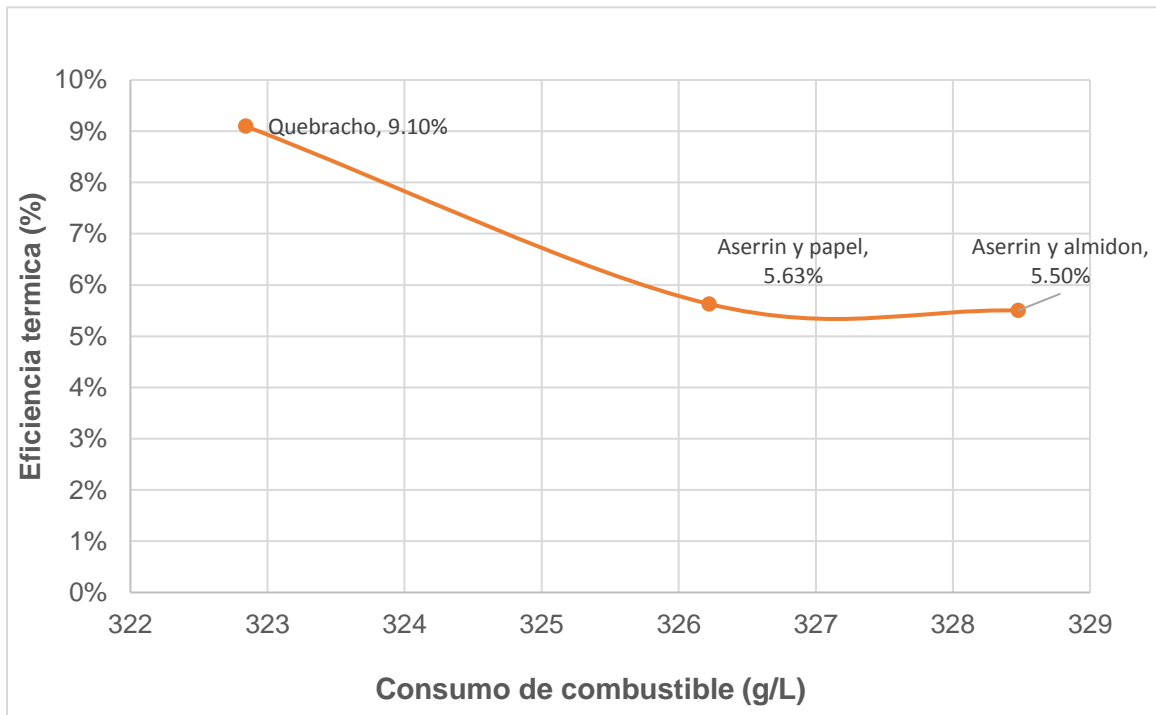


Figura 16 Comparación del consumo de combustible y comportamiento de la eficiencia en la fase de inicio en alto poder (IFAP), creación propia.

3.1.4 La tasa de combustible

La tasa de combustible (Figura 17) de las briquetas de ambos tipos comparados con los valores de la leña quebracho blanco, en ambas fases tienen valores bastantes bajos en comparación de las briquetas, esto se debe a que la leña tiende a tardar más tiempo en ser consumida por el fuego en la cocina ya que tiene una mayor compactación y menor humedad.

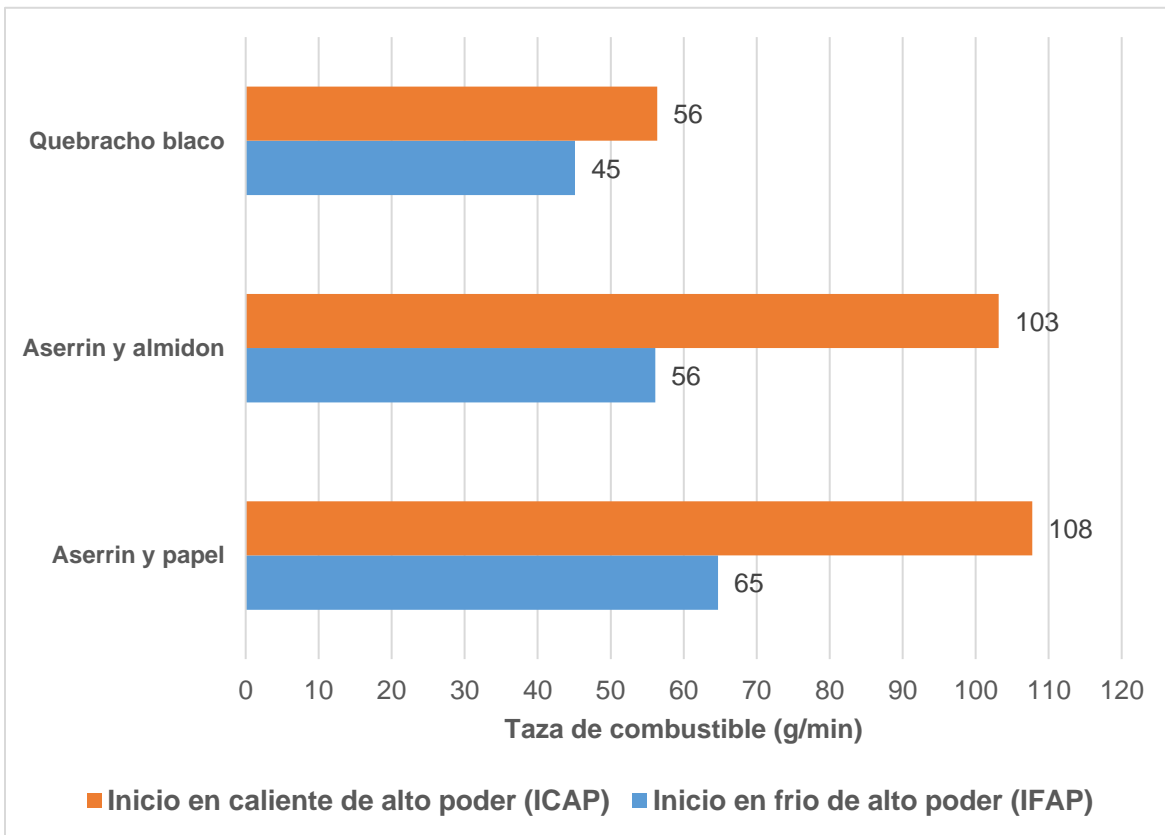


Figura 17 Comparación de tasa de combustible, creación propia.

3.1.5 Potencia de la estufa

Al comparar los valores de las briquetas con los de la leña el quebracho blanco como se observa en la Figura 18, existe una diferencia muy notable de la potencia de la cocina al utilizar cada tipo de combustible, la mayor diferencia está en la fase de inicio en caliente ya que la leña quebracho blanco tiene un valor de 20 KW.

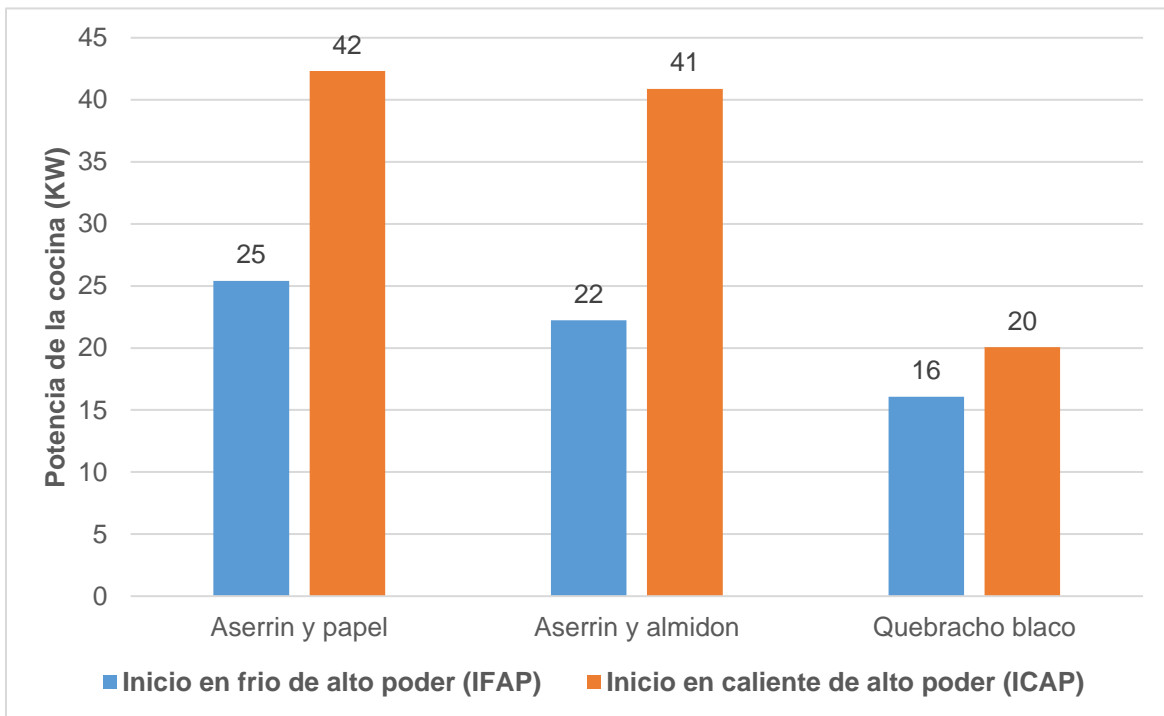


Figura 18 Potencia de la estufa, creación propia.

Lo anterior muestra que existe una relación entre la potencia y el consumo de combustible ya que en las briquetas se utiliza más combustible que con la leña quebracho blanco, es decir a mayor consumo de combustible mayor potencia entregara la cocina. También aquí se debe tomar en cuenta que un parte de la energía entregada se pierde en el humo en forma de calor y como las briquetas no generan tanto humo entregan más energía que la leña del quebracho blanco.

IV. Conclusiones

- Se fabricaron briquetas usando aserrín como base y como aglutinante papel periódico y almidón de yuca de forma separada, obteniendo dos tipos de briquetas, se seleccionaron los mejores resultados posibles con respecto a estabilidad de la estructura de cada briqueta, tiempo de secado y encendido, las proporciones elegidas para el primer tipo fueron 75% de aserrín y 25% de papel siendo las briquetas con mejores propiedades físicas con respecto al segundo tipo que se eligió 83% de aserrín y 17% de almidón que tiene una consistencia media.
- Se determinó el poder calorífico de las briquetas seleccionadas en la fase de pre-evaluación obteniendo los valores 23.57 MJ/Kg para las de aserrín y papel; para las briquetas de aserrín y almidón 23.77 MJ/Kg.
- Se realizó la comparación del poder calorífico de las briquetas y la leña quebracho blanco el cual tiene un poder calorífico de 30.5 MJ/Kg, esto demuestra que el poder calorífico de la leña es superior al de las briquetas lo cual principalmente se debe a que en la fabricación de las briquetas se usa una combinación de varios tipos de maderas y por lo tanto existe una variación de calor entregado, también influyen los aglutinantes usados en las mismas.
- Se efectuó la etapa de evaluación de las briquetas usando el modelo de pruebas de ebullición de agua (Water Boiling Test “WBT”, versión 4.2.3) con el que se calcularon las distintas variables de; tiempo de ebullición, eficiencia térmica, consumo de combustible y potencia de la estufa.

- Se evaluó la eficiencia térmica que fue uno de los parámetros importantes dentro de las pruebas, los resultados mostraron que la eficiencia térmica de las briquetas tanto en las fases de inicio en frío y caliente tienen un valor menor al de la eficiencia de la leña quebracho blanco eso se debe a que las briquetas retienen más humedad lo cual resulta en una pérdida de energía aprovechable.
- Las briquetas estudiadas se comportan física y químicamente como la leña, con ligeras variaciones ya que estas tienen una mayor facilidad para quemarse por tener mayor circulación de aire, se demostró que se puede sustituir la leña con briquetas, promoviendo de este modo su fabricación.

V. Recomendaciones

- Hacer campañas o propagandas para el uso de briquetas como sustituto de la leña tanto en aserraderos para fabricarlas, como en los hogares nicaragüenses para su consumo, dentro del grupo de personas que usan leña para elaboración de tortillas, fritangas, venta de cualquier tipo de alimento, es decir como sustituto de la leña.
- Diseñar nuevas formas de fabricar briquetas que facilite el trabajo y aumente la producción lo cual reduciría su costo.
- Realizar diferentes investigaciones incluyendo variedad de aglutinantes tales como melaza, diferentes tipos de almidones, etc., dependiendo de la región donde se van a fabricar, pues de esta manera se bajarían los costos de fabricación según el sitio geográfico de Nicaragua.
- Investigar qué tipos de biomásas pueden ser compactadas para fabricar briquetas más allá del aserrín, como por ejemplo bagazo de caña, cascara de coco, arroz o café, entre otras.
- Realizar más ensayos con otros tipos de cocinas ecológicas para tener una base de datos más amplia de la aplicación de las briquetas.

VI. Bibliografía

- [1] abc Machinery. (2015, Febrero). From Aglutinantes: <http://www.plantadepellets.com/FAQ/aglutinante-produccion-pellets.html>
- [2] ARQHYS. (2012, Noviembre). From Propiedades del papel: <http://www.arqhys.com/arquitectura/papel-propiedades.html>
- [3] Barahona, B. (2011). Poder calorífico de la briqueta vegetal. From http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/us_lista_archivos_de_curso.asp?idc=23&i
- [4] Cámara, A. (2017). Diseño y puesta a punto de un protocolo para determinar el poder calorífico de sólidos.
- [5] CLEAN COOKING ALLIANCE . (2018, Marzo). From <http://cleancookstoves.org/technology-and-fuels/testing/protocols.html>
- [6] cleancookstoves. (2016). cleancookstoves. From Nicaragua: <http://cleancookstoves.org/country-profiles/106-nicaragua.html>
- [7] energiza. (n.d.). energiza. From <http://www.energiza.org/index.php/biomasa-2/56-procesos-de-conversion-de-biomasa-en-energia>
- [8] Evenor, W. (n.d.). mailxmail.com. From Biomasa energia renovable : <http://www.mailxmail.com/curso-biomasa-energias-renovables/plantaciones-energeticas-residuos-forestales>
- [9] Francisco Martín, M. (1994, Septiembre). Pélets y briquetas. From http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2293_9990.pdf
- [10] Garrido, S. G. (2012). Centrales Termoeléctricas de biomasa. Madrid: RENOVETEC.
- [11] Grupo Energia Renobables De Mexico. (2018, febrero). GERMEX. From <https://germex.com.mx/2018/02/que-es-la-biomasa/>
- [12] Herrera Alegría, Z., & Morales Vargas , A. (1993). Propiedades y usos potenciales de 100 madera Nicaraguenses. Managua: Hispamer.
- [13] Marcos García, M. (2014, Enero). Diseño De Proceso Y de Planta Piloto Para Fabricación de Briquetas De Aserrín. Perú.
- [14] Ministerio De Energias y Minas . (2016). Balance Energetico Nacional 2015. Managua: Gobierno de Nicaragua .

- [15] Pablo Amigo, G. V. (2011, Julio). Estudio de prefactibilidad para la implementacion de una planta briquetadora en el aserradero de la empresa salfa de punta arenas.
- [16] Paz Garate. (2002). Poder calorifico. From <https://es.scribd.com/document/350658896/E970-Poder-Calorifico-doc>
- [17] Pérez, M. A. (2016). Evaluación Energética de Cocinas Mejoradas a Través del Método Water Boiling Test 4.2.3. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional de Ingenieria.
- [18] Portillo, G. (2018, Mayo 22). Renovables Verdes. From <https://www.renovablesverdes.com/poder-calorifico/>
- [19] PROLEÑA. (2018, Feb 16). ECO-FOGON. From www.prolenaecofogon.org
- [20] Taramasco, J. (2008). Maderas De Sudamerica. From Quebracho Blanco: <https://www.maderasdesudamerica.com/quebracho-blanco/>
- [21] Tienda Biomasa. (2018, Marzo). From <https://tiendabiomasa.com/briqueta>
- [22] TREEWORLD WHOLESale. (2018). From PITHECELLOBIUM ARBOREUM: <http://treeworldwholesale.com/es/flores-de-primavera/230-pithecellobium-arboreum-syn-cojoba-arborea.html>

Anexos



Anexo 1 Selección y acumulación de la materia prima



Anexo 2 Medición de las proporciones para cada tipo de briqueta



Anexo 3 Preparación del papel periódico para la fabricación de briquetas



Anexo 4 Preparación del papel almidón de yuca para la fabricación de briquetas



Anexo 5 Proceso de mezclado en las briquetas de aserrín y papel periódico



Anexo 6 Compactación de la mezcla




Anexo 7 Proceso de secado de briquetas



Anexo 8 Pruebas de encendido en cocina eco-barril



Anexo 9 Pruebas de ebullición de agua (WBT) con cocina eco-barril



DATOS GENERALES

FECHA	<input type="text"/>	FLUJO DE AIRE	<input type="text"/>		
LUGAR	<input type="text"/>	PESO OLLA 1	<input type="text"/>		
TÉCNICO	<input type="text"/>	PESO OLLA 2	<input type="text"/>		
TIPO DE COCCIÓN	<input type="text"/>	PESO OLLA 3	<input type="text"/>	PUNTO DE EBULLICIÓN	<input type="text"/>
NOMBRE PRUEBA	<input type="text"/>	PESO CHAROLA	<input type="text"/>	Tipo de Leña	<input type="text"/>
# PRUEBA	<input type="text"/>	TEMPERATURA AMBIENTE	<input type="text"/>	Humedad Leña	<input type="text"/>

	INICIO FRIO		INICIO CALIENTE		FUEGO LENTO	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Peso Filtro	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Hora	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Cant. Combustible	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Temp. Olla 1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Temp. Olla 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Temp. Olla 3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Peso Olla 1 + H ₂ O	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Peso Olla 2 + H ₂ O	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Peso Olla 3 + H ₂ O	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Inicial de Leña	<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
Charola + Carbón		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>

Nombre Archivo.CSV	<input type="text"/>	FOLIO	<input type="text"/>
--------------------	----------------------	-------	----------------------

FORMATO DE CAPTURA DE DATOS PEMS

Anexo 10 Formato para la toma de datos en la prueba de ebullición de agua (WBT)

1. HIGH POWER TEST (COLD START)	units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Time to boil Pot # 1	min	25	16	30	-	-	-	-	-	-	-	23.666667	-	
Temp-corrected time to boil Pot # 1	min	25	17	31	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	24		
Burning rate	g/min	70	85	39	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	65		
Thermal efficiency	%	5%	5%	7%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.0562956		
Specific fuel consumption	g/liter	410	316	252	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	326		
Temp-corrected specific consumption	g/liter	415	330	263	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	336		
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	9,787	7,767	6,192	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	7915		
Firepower	watts	27,514	33,250	15,453	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	25405.572		

2. HIGH POWER TEST (HOT START)	units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Time to boil Pot # 1	min	7	12	13	-	-	-	-	-	-	-	10.605556	-	
Temp-corrected time to boil Pot # 1	min	7	14	14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12		
Burning rate	g/min	113	105	105	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	108		
Thermal efficiency	%	10%	4%	5%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0		
Specific fuel consumption	g/liter	256	310	288	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	284		
Temp-corrected specific consumption	g/liter	259	363	308	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	310		
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	6,113	8,546	7,260	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	7306		
Firepower	watts	44,301	41,422	41,207	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	42310		

3. LOW POWER (SIMMER)	units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Burning rate	g/min	37	29	36	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	34		
Thermal efficiency	%	8%	8%	8%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.0778561		
Specific fuel consumption	g/liter	384	343	332	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	353		
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	9,054	8,072	7,818	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8314		
Firepower	watts	14,423	11,507	14,225	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	13385		
Turn down ratio	--	1.91	2.89	1.09	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2		

Anexo 11 Vista parcial de entrega de resultados del WBT Versión 4.2.3 para briquetas de aserrín y papel

1. HIGH POWER TEST (COLD START)	units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Time to boil Pot # 1	min	19	40	20	-	-	-	-	-	-	-	26.333333	-	
Temp-corrected time to boil Pot # 1	min	20	41	21	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	27		
Burning rate	g/min	62	46	60	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	56		
Thermal efficiency	%	5%	5%	7%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.0550148		
Specific fuel consumption	g/liter	286	443	256	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	328		
Temp-corrected specific consumption	g/liter	296	449	265	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	337		
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	7,025	10,682	6,304	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8003		
Firepower	watts	24,455	18,417	23,802	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	22224.841		

2. HIGH POWER TEST (HOT START)	units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Time to boil Pot # 1	min	9	11	13	-	-	-	-	-	-	-	10.938889	-	
Temp-corrected time to boil Pot # 1	min	9	11	14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	11		
Burning rate	g/min	82	120	107	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	103		
Thermal efficiency	%	9%	5%	5%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0		
Specific fuel consumption	g/liter	168	319	292	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	260		
Temp-corrected specific consumption	g/liter	174	319	313	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	268		
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	4,131	7,571	7,443	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6381		
Firepower	watts	32,648	47,648	42,313	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	40870		

3. LOW POWER (SIMMER)	units	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Average	St Dev	COV
Burning rate	g/min	34	30	37	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	34		
Thermal efficiency	%	8%	8%	8%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.0770494		
Specific fuel consumption	g/liter	399	339	337	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	358		
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	9,478	8,048	8,013	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8513		
Firepower	watts	13,399	11,917	14,607	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	13308		
Turn down ratio	--	1.83	1.55	1.63	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2		

Anexo 12 Vista parcial de entrega de resultados del WBT Versión 4.2.3 para briquetas de aserrín y almidón de yuca