



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Energía y Ambiente

**ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVÉS DE LA DETERMINACIÓN DEL PODER
CALORÍFICO DE LA BIOMASA FORESTAL EN FORMA DE BRIQUETA DE LA ESPECIE
EUCALYPTUS GRANDIS, PARA LA REGIÓN DEL MUNICIPIO DE PALENCIA EN EL
DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

Ing. Kevin Roberto Hernández Tavico

Asesorado por el M.A Ing. Otto Leonel Blanco Montenegro

Guatemala, octubre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVÉS DE LA DETERMINACIÓN DEL PODER
CALORÍFICO DE LA BIOMASA FORESTAL EN FORMA DE BRIQUETA DE LA ESPECIE
EUCALYPTUS GRANDIS, PARA LA REGIÓN DEL MUNICIPIO DE PALENCIA EN EL
DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. KEVIN ROBERTO HERNÁNDEZ TAVICO
ASESORADO POR EL M.A ING. OTTO LEONEL BLANCO MONTENEGRO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ARTES EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Mtro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Dónis
SECRETARIA	Mtra. Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Mtro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Mtra. Inga. Ismelda Isabel López Tohom
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
SECRETARIA	Mtra. Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVÉS DE LA DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LA BIOMASA FORESTAL EN FORMA DE BRIQUETA DE LA ESPECIE *EUCALYPTUS GRANDIS*, PARA LA REGIÓN DEL MUNICIPIO DE PALENCIA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrados, con fecha 5 de abril de 2017.


Kevin Roberto Hernández Tavico

Ref.APT-2018-031

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente titulado: "ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVÉS DE LA DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LA BIOMASA FORESTAL EN FORMA DE BRIQUETA DE LA ESPECIE EUCALIPTUS GRANDIS, PARA LA REGIÓN DEL MUNICIPIO DE PALENCIA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA" presentado por el Ingeniero en Electrónica Kevin Roberto Hernández Tavico, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"

Maestro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2018.

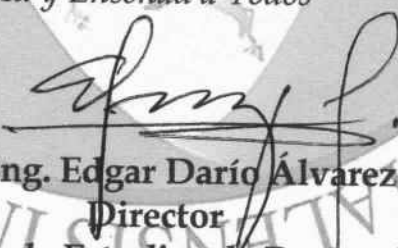
Cc: archivo/LZ.L.A.

Ref.APT-2018-031

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado "ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVÉS DE LA DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LA BIOMASA FORESTAL EN FORMA DE BRIQUETA DE LA ESPECIE *EUCALIPTUS GRANDIS*, PARA LA REGIÓN DEL MUNICIPIO DE PALENCIA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA" presentado por el Ingeniero en Electrónica Kevin Roberto Hernández Tavico, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Maestro. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2018.

Cc archivo/L.Z.L.A.

Ref.APT-2018-031

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado "ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVÉS DE LA DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LA BIOMASA FORESTAL EN FORMA DE BRIQUETA DE LA ESPECIE *EUCALIPTUS GRANDIS*, PARA LA REGIÓN DEL MUNICIPIO DE PALENCIA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA" presentado por el Ingeniero en Electrónica **Kevin Roberto Hernández Tavico**.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Maestro Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2018.


Cc: archivo/LZLA.

Ref.APT-2018-031

En mi calidad como Asesor del Ingeniero en Electrónica Kevin Roberto Hernández Tavico doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado "ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVÉS DE LA DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICA DE LA BIOMASA FORESTAL EN FORMA DE BRIQUETA DE LA ESPECIE EUCALIPTUS GRANDIS, PARA LA REGIÓN DEL MUNICIPIO DE PALENCIA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA" quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Maestro. Ing. Otto Leonel Blanco Montenegro

Asesor(a)

Maestro en Docencia de la Educación Superior

Guatemala, octubre de 2018.

Cc: archivo/L.Z.L.A.

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el fundamento principal en mi vida profesional y personal.
- Mis padres** Por su amor incondicional y permanente.
- Mis amigos** Erick, Luz, Jorge, Débora, Edgar, Carlos, Iván, Ilse y Eyyummy.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el principal ente de cambio en Guatemala.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme aportar científicamente al país.
Laboratorio de Tecnología de la Madera	Por permitirme la realización de la fase experimental.
Ing. José Rosal Chicas	Catedrático del curso Seminario III, por su motivación y entrega.
Ing. Roberto del Cid	Por su afectiva disposición y colaboración.
Ing. Agr. David Mauricio Tavico	Por su aporte cognoscitivo y asesoría científica.
Ing. Mauricio Rivera e Ing. Heziel Enríquez	Por su total y completa disposición de colaboración.
Antonio Gómez	Encargado municipal de Reforestación Municipalidad de Palencia Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS...XV	
PREGUNTAS.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Biomasa.....	1
1.1.1. Biomasa forestal.....	2
1.2. Características botánicas de los eucaliptos.....	2
1.2.1. <i>Eucalyptus grandis</i>	2
1.2.2. Corteza.....	3
1.2.3. Hojas.....	3
1.3. Biomasa forestal de especie <i>Eucalyptus grandis</i>	4
1.3.1. Leña de eucalipto.....	4
1.4. Poder calorífico de la especie.....	4
1.4.1. Calorimetría.....	4
1.4.2. Poder calorífico.....	5
1.4.3. Eficiencia energética.....	6
1.4.4. Bomba calorimétrica.....	7

1.5.	Propiedades de la briqueta	8
1.5.1.	Forma y tamaño	8
1.5.2.	Aspecto	9
1.5.3.	Color y brillo	10
1.5.4.	Densidades	10
1.5.5.	Humedad.....	10
1.5.6.	Aglutinantes.....	11
1.5.7.	Friabilidad.....	11
1.6.	Proceso de fabricación de briqueta.....	12
1.6.1.	Triturado	12
1.6.2.	Secado	12
1.6.3.	Aglutinante de almidón de yuca	12
1.6.4.	Proceso de obtención de almidón de yuca.....	13
1.6.5.	Efectos a la salud sobre el uso de yuca	15
1.7.	Sostenibilidad.....	16
1.7.1.	Sostenibilidad.....	16
1.7.2.	Sostenibilidad a través de bosques energéticos de la especie <i>Eucalyptus grandis</i>	17
1.8.	Delimitación geográfica.....	17
1.9.	Protocolo para medición de eficiencia energética	21
2.	FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS.....	25
2.1.	Disponibilidad de la biomasa en el municipio de Palencia	25
2.2.	Procesamiento de la materia prima.....	28
2.2.1.	Triturado de la especie <i>Eucalyptus grandis</i>	28
2.2.2.	Secado de la muestra	29
2.2.3.	Molienda.....	31
2.2.4.	Análisis de granulométrico	32
2.2.5.	Mezcla.....	36

2.2.6.	Compactación de la mezcla en forma de briqueta..	38
3.	ESTUDIO ENERGÉTICO Y FINANCIERO	41
3.1.	Poder calorífico de briquetas de eucalipto.....	41
3.2.	Briqueta	42
3.3.	Leña.....	43
3.4.	Proceso del protocolo <i>wbt water boiling test</i>	44
3.4.1.	Prueba de eficiencia del biocombustible.....	50
3.5.	Análisis financiero.....	51
3.5.1.	Punto de equilibrio	52
3.5.2.	Descripción de costos.....	52
4.	RESULTADOS	55
4.1.	Resultados del poder calorífico de la especie de <i>Eucalyptus grandis</i> en briquetas	55
4.2.	Resultados de eficiencia de briquetas de la especie	60
4.3.	Resultados del análisis financiero	62
5.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	65
5.1.	Poder calorífico práctico y teórico.....	65
5.2.	Poder calorífico de mezcla con aglutinante de almidón de yuca	65
5.3.	Humedad de briquetas	65
5.4.	Cantidad de ceniza en mezcla de briquetas y friabilidad	66
5.5.	Eficiencia energética	67
5.6.	Análisis financiero.....	68
	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES	73

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 75
ANEXOS..... 79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Corteza de eucalipto	3
2. Hoja de la especie <i>Eucalyptus grandis</i>	4
3. Bomba calorimétrica.....	8
4. Forma variada de briqueta	9
5. Etapas del proceso para la obtención de almidón de yuca	14
6. Distribución potencial de la especie de Eucalipto.....	20
7. Diagrama climático Palencia Guatemala 2017.....	27
8. Trituradora y cuchillas de corte	28
9. Muestra de madera de eucalipto del municipio de Palencia, departamento de Guatemala.....	30
10. Curva granulométrica para moliendas de eucalipto	36
11. Proceso de mezcla de aserrín de eucalipto con aglutinante	37
12. Probetas de acero y prensa hidráulica de 50 toneladas Kg/cm ²	39
13. Resumen del proceso de elaboración por briqueta	40
14. Mezcla horneada de aserrín tamizado con 40 % aglutinante de almidón de yuca.....	41
15. Briquetas elaboradas en laboratorio con referencia de billete y moneda nacional.....	43
16. Leña de encino.....	44
17. Dimensiones de la estufa Aler 2.....	46
18. Estufa ahorradora de leña Aler 2.....	46
19. Briquetas en estufa ahorradora Aler 2.....	47
20. Leña de encino en estufa ahorradora Aler 2	47

21. Ceniza de briquetas de la prueba WBT	49
22. Proceso para la comprobación de eficiencia de biocombustibles	50
23. Comparación entre valores de poder calorífico de la muestra de madera de eucalipto con valores teóricos de referencia	56
24. Comportamiento del poder calorífico entre muestras de aserrín de eucalipto y aserrín con aglutinante	56
25. Comparación entre valores de porcentaje de humedad para briquetas...	59
26. Gráfica de punto de equilibrio	64
27. Informe de resultados del MEM para muestra de aserrín de eucalipto	79
28. Informe de resultados del MEM para muestra de aserrín de eucalipto	80
29. Campana de emisiones en Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII USAC	81
30. Peso exacto de briqueta seca en kilogramos.....	81
31. Olla de laboratorio con agua 5 kg y tara 0.37 kg.....	82
32. Prueba WBT en frío con briquetas y dos ollas con agua	82
33. Prueba WBT en frío con leña de encino y ollas con agua.....	83
34. Temperatura del agua al inicio de la prueba WBT	83
35. Temperatura del agua al finalizar la prueba WBT	84
36. Molino de muelas.....	84
37. Aserrín (% obtenido en tamizado).....	85
38. Tamizadora motorizada Humboldt ASTM E11 7 tamices	85
39. Muestra de eucalipto en tamizadora	86
40. Mapa de cobertura forestal del municipio de Palencia.....	87
41. Visita a la Municipalidad de Palencia	88
42. Vivero de reforestación en el Municipio de Palencia.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

1. Valores de calor específico de combustión	6
2. Datos meteorológicos del Municipio de Palencia Guatemala.....	18
3. Descripción de área de bosques en el municipio de Palencia	19
4. Datos de temperatura y precipitación pluvial municipio de Palencia año 2017	26
5. Resumen de datos climatológicos.....	27
6. Especificaciones técnicas de la trituradora forestal.....	29
7. Humedad de la muestra chip de madera de eucalipto	30
8. Características del higrómetro.....	31
9. Características técnicas para molino proceso No. 1	32
10. Características técnicas para molino proceso No. 2	32
11. Características técnicas del proceso de tamizado	33
12. Condiciones de trabajo para tamizado	33
13. Características de balanza para medición de proporciones.....	34
14. Porcentaje obtenido por tamiz corrida No. 1	34
15. Porcentaje obtenido por tamiz corrida No. 2	35
16. Porcentaje obtenido por tamiz corrida No. 3	35
17. Proporciones de mezcla para briquetas	37
18. Características de prensadora hidráulica	38
19. Características de probeta	39
20. Densidad de la briqueta	40
21. Datos dados del análisis realizado en el Laboratorio de Hidrocarburos del MEM	42
22. Temperaturas y condiciones de laboratorio al inicio de del protocolo WBT	45

23. Tiempos de comparación entre uso de briquetas y leña común para hervir 5 litros de agua	48
24. Temperaturas máximas y mínimas para la realización de protocolo WBT	48
25. Comparación de cantidad de ceniza entre uso de briquetas y leña común para hervir 5 litros de agua.....	49
26. Descripción de costos fijos.....	53
27. Descripción de costos variables.....	53
28. Resumen de valores para el punto de equilibrio	54
29. Resultado del MEM para muestras de eucalipto.....	55
30. Resultados de cantidad de ceniza por muestra de eucalipto	57
31. Resumen de valores iniciales de briquetas.....	57
32. Poder calorífico y humedad por briqueta con 15 días período de secado	58
33. Resumen de valores con 15 días periodo de secado para briquetas	59
34. Resultados de índice de friabilidad por briqueta	60
35. Resultados de índice de Friabilidad total	60
36. Tiempos de eficiencia para hervir 5 litros de agua, según protocolo WBT	61
37. Comparación de eficiencia producida por combustión en Joules por prueba WBT	61
38. Comprobación de costos para el punto de equilibrio	62
39. Datos para producción de briquetas por tonelada	63

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
mm	Milímetro
Kcal/kg	Poder calorífico kilocaloría por kilogramo
KJ/kg	Poder calorífico kilo Joule por kilogramo
% HR	Porcentaje de humedad relativa
USD	Dólar estadounidense (United States Dollar)
MJ/kg	Mega Joule por kilogramo
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
Ton	Tonelada

GLOSARIO

Biomasa	Cantidad de productos obtenidos por fotosíntesis, susceptibles de ser transformados en combustible útil para el hombre y expresada en unidades de superficie y de volumen.
Briqueta	Conglomerado de materia en forma de cilíndrica o rectangular útil para combustible.
Diagrama de clima	Gráfico de doble entrada en el que se presentan resumidos los valores de precipitación y temperatura obtenidos de una estación meteorológica.
<i>Eucaliptus grandis</i>	Especie de eucalipto en estudio.
Higrómetro	Instrumento que se utiliza para medir el grado de humedad del aire, gas o material sólido como madera.
<i>Manihot esculenta</i>	Llamada comúnmente yuca, mandioca, tapioca, guacamota, casabe o casava, es un arbusto perenne de la familia de las euforbiáceas.
Motor trifásico	Dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas

Pirómetro

Dispositivo capaz de medir la temperatura de una sustancia sin necesidad de estar en contacto con ella.

Poder Calorífico

Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua generado en la combustión.

WBT

Protocolo *Water Boiling Test*. (Prueba de ebullición de agua).

RESUMEN

El uso excesivo de la leña, induce a la búsqueda de soluciones para el ahorro del recurso en hogares y aplicaciones industriales y existen pocos estudios para el aprovechamiento de especies adecuadas, para la explotación energética como lo es el caso del eucalipto.

El análisis del estudio constata la viabilidad técnica sobre el aprovechamiento de los recursos en las extensiones boscosas sin explotar en el municipio de Palencia, por lo que su aplicación es viable como una propuesta para el consumo y venta en mercados locales y la comercialización industrial en países cercanos.

Para la fabricación de briquetas, se procesa la madera de eucalipto de tal forma que se obtiene una molienda a punto de aserrín, se mezcla con una proporción de 40 % de aglutinante de almidón de yuca, se compacta y se secan de forma natural a temperatura ambiente durante 15 días para obtener briquetas con un peso medio de 0.14 kg.

En el análisis energético, se obtuvo mayor poder calorífico por el volumen de la briqueta y el peso de la misma, ya que cuando se compacta se hace más densa, por lo tanto, sus propiedades caloríficas aumentan.

Financieramente, las briquetas son una alternativa viable para su comercialización si se fabrican por hectárea, se debe de trabajar bajo las condiciones en donde las plantaciones de eucalipto duran seis años en alcanzar

su madurez energética. Se obtienen alrededor de 7000 briquetas en una tonelada de eucalipto y más de 785,000 por hectárea trabajada.

La aplicación de las briquetas de biomasa de eucalipto es útil para hogares donde hacen uso de leña común y en industrias como ingenios, debido a que son económicas y eficientes de forma energética.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

Un recurso como la leña es vital para la economía en áreas rurales de los departamentos del interior en Guatemala, este recurso se puede obtener de forma directa, a través de vendedores locales.

Su uso ha provocado que su consumo dentro de la matriz energética nacional haya aumentado, por lo que la regularización debe ser prioridad para las nuevas generaciones.

La demanda seguirá en incremento, debido al crecimiento poblacional y a la agudización de las condiciones de pobreza en el país, así como el incremento en los precios de los derivados del petróleo.

El municipio de Palencia en el departamento de Guatemala cuenta con micro-regiones en donde se cataloga el uso del suelo en cultivos y bosques, la región central y norte del municipio son propicias a cultivos forestales de especies latifoliadas. Existen riesgos forestales por el uso de leña de bosques cercanos por parte de comunidades cercanas lo que provoca deforestación, erosión en el suelo y reducción de yacimientos de agua en las micro-cuencas hídricas.

Los factores que determinan el consumo de leña en el municipio son principalmente, la fácil adquisición y su bajo costo, también se considera las tradiciones en la cocción de alimentos y el crecimiento poblacional que tienen un índice de crecimiento del 2.66 %, según datos del INE.

Relacionado con el problema descrito, se formula la pregunta principal del trabajo de graduación, ¿cuál es la eficiencia energética, a través del poder calorífico de la biomasa forestal en forma de briqueta de la especie *Eucalyptus grandis* para el municipio de Palencia en el departamento de Guatemala?

En consideración a la eficiencia energética, ¿es viable técnicamente la fabricación de briquetas haciendo uso de la especie *Eucalyptus grandis*? Y según las muestras tomadas *in situ* de la especie, ¿qué poder calorífico tendrán las briquetas de biomasa de eucalipto?

El uso de la leña como principal fuente energética en las comunidades del municipio es un problema creciente, y en relación a su uso, ¿cuánta eficiencia produce el sustituto a la leña determinando por las briquetas de combustible en estufas?

La sostenibilidad de los bosques depende de su cuidado y de la inversión sobre proyectos relacionados, además de que la elaboración de las briquetas está sujeta a un proceso de fabricación, por lo que, ¿es viable financieramente la fabricación de briquetas haciendo uso de la biomasa de la especie en estudio?

PREGUNTAS

Pregunta central:

¿Cuál es la eficiencia energética, a través del poder calorífico de la biomasa forestal de la propuesta en forma de briqueta de la especie *Eucalyptus grandis* para el municipio de Palencia en el departamento de Guatemala?

Preguntas auxiliares:

1. ¿Es viable técnicamente la fabricación de briquetas haciendo uso de la especie *Eucalyptus grandis*?
2. ¿Qué poder calorífico tendrán las briquetas de biomasa de la especie de eucalipto en estudio?
3. ¿Cuál es la eficiencia energética produce el sustituto a la leña determinando por las briquetas de combustible en estufas?
4. ¿Es viable financieramente la fabricación de briquetas haciendo uso de la biomasa de la especie?

OBJETIVOS

General

Determinar la eficiencia de la biomasa forestal de la especie *Eucalyptus grandis* en forma de briquetas como alternativa a la leña, mediante pruebas de poder calorífico para el municipio de Palencia en el departamento de Guatemala.

Específicos

1. Fabricar briquetas de biomasa de la especie *Eucalyptus grandis* con aglutinante de almidón de yuca para verificación de su viabilidad técnica.
2. Determinar el potencial energético de las briquetas con aglutinante de almidón de yuca medio de poder calorífico.
3. Realizar un análisis de eficiencia energética de briquetas de la especie, para su comparación con la leña.
4. Determinar la viabilidad financiera de la fabricación de briquetas de la especie de *Eucalyptus grandis*.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

El tipo de investigación que se desarrolló es comparativa experimental, ya que se realizaron briquetas con aglutinante de almidón de yuca, se determinó el poder calorífico y posteriormente se midió la eficiencia energética del biocombustible en estufas ahorradoras en comparación con el uso de leña.

El eucalipto es una especie altamente utilizada para fines energéticos en ingenios y su producción controlada se ha convertido en una fuente sostenible de combustible ecológico. En el municipio de Palencia en el departamento de Guatemala, se tienen las condiciones ambientales adecuadas para su cultivo y producción, cuenta además con un total de 4,201.55 hectáreas con cobertura forestal en 196 Km² de extensión territorial y una altura promedio de 1400 msnm.

La constitución de los suelos del municipio de Palencia es de materiales volcánicos con características de buen drenaje y texturas franco-arenosa, franco-limosa y arcilla, específicamente en las Micro-Regiones III y IV propias de bosques de especies latifoliadas y con yacimientos de agua utilizados por las comunidades. Se investigaron datos meteorológicos de las estaciones cercanas al municipio con lo es la estación automática de San Pedro Ayanpuc e INSIVUMEH como temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial anual de los registros históricos de los cuales se realizó un análisis estadístico de valores de media y desviación estándar para observar sus comportamientos.

Haciendo uso de eucalipto de la especie con contenido de madera, corteza y ramas pequeñas, se procedió con una molienda a través de un molino de

martillos con una criba de ¼". Se realizó una segunda fase a través de un molino de muelas y martillos con una criba de 1/16" para obtener un molido fino.

En la fabricación de la briqueta experimental, se consideró una mezcla con aglutinante de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) de forma proporcional y aserrín de la especie *Eucalyptus grandis*. Para dicha experimentación se realizaron briquetas con un 40 % de aglutinante sobre 140.0 gramos de aserrín de eucalipto, una segunda proporción de un 50 % de aglutinante 226.80 gramos de aserrín de eucalipto, y una tercera prueba haciendo uso únicamente del aserrín en base seca de la molienda de eucalipto. Se compactó el material con 10 toneladas de presión a la mezcla realizada en cilindros de acero y se procedió a secar las briquetas resultantes durante 15 días a temperatura ambiente para remover el excedente de humedad.

Se procedió a trabajar con un protocolo de WBT (*Water Boiling Test* o prueba de ebullición de agua por sus siglas en inglés) para determinar la eficiencia de las briquetas, hirviendo 5 litros de agua, tanto para el uso de leña como para las briquetas. El proceso desde la molienda hasta la ejecución del protocolo WBT, se llevó a cabo en el Laboratorio de Tecnología de Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería CII de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Los datos de poder calorífico de la proporcionalidad de la muestra de la especie en estudio, se trabajaron a través del Ministerio de Energía y Minas, por medio del Laboratorio de Hidrocarburos, los cuales se tabularon y se compararon con los valores teóricos existentes de la especie de *Eucalyptus grandis*, también se tabularon los datos de tiempo de eficiencia del protocolo WBT en fase inicial con el uso de combustible de briquetas de la especie en estufas ahorradora Aler 2. Se eligió el software Microsoft Excel® para la tabulación de los resultados.

Finalmente se analizaron costos sobre la creación de briquetas, a partir de la obtención de la materia prima por hectárea, costos de fabricación, mano de obra y mantenimiento de bosques.

El uso de briquetas de biomasa de la especie es factible por el hecho de que poseen mayor poder calorífico que la leña común, poseen un tiempo corto de encendido por su elaboración en base seca y no contienen humedad, produce menor uso de leña aprovechando energéticamente, toda la biomasa proveniente de la especie.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala se mantiene constante el alto consumo de leña, lo cual se ve reflejado en la matriz de consumo energético del país. Las consecuencias de la utilización de leña se ven reflejadas en la deforestación de bosques y áreas de cultivo. Son escasos los estudios que resalten el potencial energético de las especies de eucalipto y menos aún en aplicaciones de aprovechamiento de biomasa como briquetas.

En la propuesta que se analiza, se comprueba la eficiencia energética que produce las briquetas de biomasa de eucalipto como combustible alternativo. El control que se maneja sobre el biocombustible de eucalipto, a través de bosques energéticos convierte a la aplicación de briquetas en una alternativa sostenible y sustentable económica y ambientalmente.

Para la fabricación de briquetas se requiere de un proceso haciendo uso de tecnología en donde se aprovecha la biomasa de la especie en forma de molienda, determinada bajo un análisis granulométrico. Es necesario el proceso de molienda para aumentar la densidad por área de la briqueta y, por ende, mejorar el poder calorífico por unidad de volumen.

Se conforma una mezcla con materia prima molida y aglutinante de almidón de yuca en forma proporcional, la cual atraviesa un proceso de compactación para conformar la briqueta. Seguidamente, las briquetas atraviesan un proceso de secado natural a temperatura ambiente durante un período de dos semanas para la remoción de la humedad.

La medición de la eficiencia se realiza a través de los parámetros indicados por el Protocolo WBT (*Water Boiling Test*) para determinar así la conveniencia del uso del biocombustible en un comparativo con la leña común.

Para el capítulo uno, se detalla los conceptos y la información recopilada de las características ambientales del municipio de Palencia, así mismo se incluye la información sobre las propiedades de las briquetas, así como las propiedades de la especie de eucalipto, el aglutinante de almidón de yuca y el proceso de fabricación.

En el capítulo dos, se analiza la factibilidad técnica y financiera de la fabricación de briquetas de biomasa de eucalipto, las cuales están compuestas de una proporción de 60 % de aserrín de la especie y 40 % de aglutinante de almidón de yuca, con lo que se determina el poder calorífico por medio de muestras enviadas al Ministerio de Energía y Minas MEM.

En la segunda parte del capítulo dos, se analiza el estudio financiero para determinar la viabilidad técnica de la fabricación de briquetas por tonelada de eucalipto en hectáreas no explotadas en el municipio de Palencia, determinando el costo por briqueta para el consumo local.

En el capítulo tres, se detalla el estudio energético, el cual determina que, bajo los procesos de fabricación, las briquetas conservan su alto poder calorífico y se mantiene por encima de la leña común basada en la producción de ceniza y el aprovechamiento del recurso cuando es incinerado. Las pruebas se realizaron bajo las instrucciones del Protocolo WBT (*Water Boiling Test*) o prueba de ebullición de agua en su fase inicial para determinar la eficiencia del combustible.

En el capítulo cuatro, se realiza una recopilación de datos de las pruebas de laboratorio en MEM y pruebas realizadas en el Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII- USAC, los resultados se detallan para las pruebas de friabilidad de briquetas, poder calorífico individual por briqueta datos de humedad, peso en kilogramos y eficiencia energética en una estufa ahorradora Aler 2.

En el capítulo cinco, se detallan los resultados de las pruebas realizadas resaltando la interpretación de los datos obtenidos en las pruebas de eficiencia de las briquetas, así como la interpretación al análisis financiero para la fabricación de briquetas.

En los resultados se determina que la biomasa de eucalipto tiene mayor poder calorífico que la leña común, esto es debido a que las briquetas poseen mayor poder calorífico y que al compactarse, su densidad aumenta y se aprovecha mejor los recursos en un espacio reducido.

Se determina también que, en la fabricación de briquetas, se aprovecha mejor las hectáreas de bosques no explotado en la región del municipio de Palencia, por su costo es accesible en el mercado local y para consumo dentro de los departamentos cercanos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Biomasa

La biomasa es una forma de alternativa de reutilización de materiales residuales, particularmente orgánicos. Es una fuente de energía y actualmente está en auge.

Su utilización es variada y es mayormente utilizada como combustible luego de atravesar un proceso que conlleva la materia utilizable. Esto es debido a que puede tener un bajo nivel de contenido de carbono y elevado contenido de oxígeno (Energía Biomasa, 2008), lo cual permite una excelente combustión en mediciones de poder calorífico.

La materia orgánica que produce la biomasa puede venir directamente de la fuente como la biosfera, árboles, planta, desechos de animales y materia orgánica residual (Regil Wald, 2010). Sin embargo, en su actualidad la biomasa está en crecimiento y se debe de investiga más sobre su poder calorífico para su utilización.

El aprovechamiento de este recurso es vital para la generación de energía como el caso de los ingenios azucareros en la utilización de bagazo de caña para generación de energía.

La biomasa es una fuente de energía renovable, porque su valor proviene del sol, a través del proceso de fotosíntesis (Regil Wald, 2010). Y menciona además que la clorofila de las plantas captura su energía de tal manera que

convierte el dióxido de carbono CO₂ junto con el agua del suelo y lo convierte en carbohidratos lo que forma la materia orgánica.

1.1.1. Biomasa forestal

La biomasa forestal está enfocada en toda la materia orgánica proveniente de residuos biodegradables procedentes de áreas boscosas. Estos residuos de origen forestal son generados en operaciones y limpieza o aclareos forestales (Lozano, 2009). Provenientes además de la tala moderada de árboles de diversas especies, se pueden obtener distintos recursos aprovechables entre los cuales están: madera, ramas, arbustos, raíces, cortezas, incluso arboles pequeños y árboles muertos. Aunque la biomasa que se queda en los bosques funciona de tal manera que mantiene la riqueza del suelo de la zona la putrefacción de todos los residuos favorece su enriquecimiento agregando vitaminas y nutrientes esenciales para nuevos árboles en reforestación.

1.2. Características botánicas de los eucaliptos

1.2.1. *Eucalyptus grandis*

Este tipo de especie es conocido como eucalipto rosado, con una corteza suave y áspera en la base fibrosa, la cual es de color gris o gris marrón. En su etapa adulta puede medir hasta los 50 metros de altura, y existen algunos que pueden llegar a medir más de 80 metros. Se utiliza como recurso energético, a través de bosques energéticos, puede proveer madera, resinas, productos médicos, entre otros beneficios. Es de vital importancia mencionar que, al ser una especie proveniente de Australia, en Guatemala ha tenido buena aceptación y se empieza a indagar en investigaciones que resalten todo su poder energético en los primeros años de vida de la especie.

1.2.2. Corteza

Puede convertirse en materia prima de etanol, gracias a su contenido en azúcares solubles que fermentan al contacto con levaduras. La corteza y la madera exudan varios tipos de quino (sustancia roja y gomosa), algunos de los cuales sirven para proteger los barcos de los ataques del molusco llamado taraza, y otros para elaborar fármacos antihemorrágicos. La corteza de ciertas especies produce tanino, que se emplea en el curtido de las pieles y en la tintura de tejidos.

Figura 1. **Corteza de eucalipto**



Fuente: www.botanicmontserrat.blogspot.com

1.2.3. Hojas

Útil para obtener esencias y aceites, así como otros fines como biomasa para combustible. Las hojas que revelan un admirable diseño y contienen un aceite muy provechoso, parecen dedos de una mano lánguida que apuntan a la base del tronco. Al estar dispuestas de este modo, cumplen la función de un gran embudo, pues capturan en su superficie la valiosa humedad, que luego gotea de las ásperas puntas hacia las sedientas raíces.

Figura 2. **Hoja de la especie *Eucalyptus grandis***



Fuente: www.indiabiodiversity.org

1.3. Biomasa forestal de especie *Eucalyptus grandis*

1.3.1. Leña de eucalipto

La leña debe ser preparada antes de usarse para que se quemé de manera uniforme y limpia. Esta preparación consiste en el corte de la madera poco después que el árbol es cortado para que la madera se seque. Los eucaliptos tienen un alto contenido de aceite y agua, por lo que la madera debe ser cortada y dejada el tiempo suficiente como para que se seque antes de ser quemada. Sin embargo, los eucaliptos son difíciles de cortar, ya que tienden a torcerse a medida que crecen, y son fibrosos. La leña de eucalipto es valorada por su alto poder calorífico, el cual comparado con el valor de poder calorífico que poseen las maderas duras, se considera en igualdad y más eficiente en términos de período de tiempo de crecimiento.

1.4. Poder calorífico de la especie

1.4.1. Calorimetría

Parte de la física que se encarga de la medición de calor en una reacción química o un cambio de estado usando un instrumento también llamado

calorímetro. Es posible utilizarlo de un modo indirecto calculando el calor que los organismos vivos producen, a partir de la producción de dióxido de carbono y de nitrógeno, y del consumo de oxígeno.

1.4.2. Poder calorífico

El poder calorífico es una unidad de medida que viene dada por la cantidad de calor y su relación directa con el material en combustión. Sin embargo, a la dependencia de la cantidad de calor con la naturaleza de la sustancia del material, es una magnitud que se le denomina calor específico de la sustancia. Y siendo más específicos aún, existe un valor de calor específico para la combustión (l) y para sus efectos, es la cantidad de calor (Q) que cede la unidad de masa del cuerpo al quemarse totalmente. Esta unidad se expresa en unidades de energía (J) por unidad de masa (kg) (Regil Wald, 2010. Pág. 18 y 19). Y la cantidad de calor (Q) que se desprende por cierta masa (m) de combustible, al quemarse totalmente puede ser calculado por la fórmula $Q=l.m$.

La siguiente tabla que se muestra a continuación muestra una comparativa entre los calores específicos de combustión de distintos materiales que pueden ser utilizados como combustibles en procesos térmicos.

Tabla I. **Valores de calor específico de combustión**

Material combustible	Calor específico de combustión (MJ/kg)
Hidrógeno	142
Gas metano	55
Gasolina	47
Petróleo crudo	47
Queroseno	46
Carbón bituminoso	36
Antracita	35
Coque	34
Alcohol etílico	30
Carbón vegetal	30
Alcohol metílico	22
Madera de pino	21
Cascara de coco	20
Turba seca	20
Leña seca	18
Turba húmeda	16
Aserrín seco	15
Cáscara de Arroz	15
Lignito	13
Bagazo de caña seco	9
Leña verde	9
Planta de maíz seca	9
Aserrín húmedo	8

Fuente: www.cubasolar.cu

1.4.3. Eficiencia energética

La eficiencia energética se puede definir como la optimización de los consumos energéticos de una instalación, de tal manera que para realizar una misma operación se reduzca el consumo energético sin disminuir la calidad del servicio prestado.

La eficiencia energética considera el buen uso, así como las buenas prácticas de todas las operaciones que generan un trabajo o una operación de tal manera que se aprovechen, en su máxima expresión, todas las unidades energéticas en el uso de las aplicaciones.

1.4.4. Bomba calorimétrica

Es el instrumento establecido para la medición del poder calorífico de un combustible, para la investigación es la biomasa forestal en chip de madera y briquetas de biomasa forestal de la especie *Eucalyptus grandis*. Su funcionamiento está basado en determinar las variables de poder calórico, colocando en un recipiente para combustible dentro de una bomba calorimétrica, en donde adicionalmente se agrega el oxígeno necesario para la combustión. Lo anterior se procede a realizarse dentro de una camisa adiabática, para evitar la fuga de calor liberado por el combustible.

El calor que absorbe el agua no es el poder calorífico del combustible, debido a factores como la absorción de calor por la propia bomba, liberación de calor del alambre que provoca el encendido del combustible, liberación de calor por la formación de ácido nítrico, entre otros.

Figura 3. **Bomba calorimétrica**



Fuente: www.fire-testing.com

1.5. Propiedades de la briqueta

1.5.1. Forma y tamaño

Las briquetas en su forma y tamaño pueden variar dependiendo de la máquina de producción, sea de procesos de extracción de tornillo, de extracción a pistón o artesanales con briquetadoras a presión. En Europa ya se está normando la fabricación de briquetas con biomasa y entre los países que tienen normas bien definidas sobre su fabricación están Austria, Suecia y Alemania. La norma M1735 en Austria, la norma SS187121 en Suecia y la estandarización de la norma DIN 51731 en Alemania, ya se están tomando como referencias internacionales, debido a que países de América del Sur como Chile y Argentina ya se están produciendo briquetas con dichas normas.

Figura 4. **Forma variada de briqueta**



Fuente: www.biofuelmachines.com

En su mayoría, las briquetas son de forma cilíndrica con un diámetro entre el rango de los 7 y 9 cm. Su diámetro comprendido entre un rango de 50 y 90 cm. (Maldonado, 2015. Pág. 22).

Las dimensiones de las briquetas a nivel industrial se determinan por las especificaciones que el fabricante considere dentro de su diseño para producción masiva. En países europeos si se consideran normas y estándares que determinan tanto sus dimensiones como el nivel de humedad, así como el tamaño de partícula para cada briqueta fabricada.

1.5.2. Aspecto

La composición de las briquetas es variable y también así será su color, dependiendo del tipo de la materia orgánica y tipo de madera, como si en la cara exterior de la briqueta, el color es más oscuro y parece como negruzco (Maldonado, 2015).

1.5.3. Color y brillo

Dependerá del material y su secado, estos componentes deberán de tratarse de tal manera que los residuos y materiales de la briqueta sean maleables y manejables (Maldonado, 2015).

1.5.4. Densidades

La principal característica de las briquetas frente a las astillas es que son más densas que estas, con lo que facilitan el transporte, manipulación y almacenaje. El inconveniente es que las briquetas resultan más caras que las astillas, pues requieren un proceso industrial de fabricación (Maldonado, 2015).

Al tener mayor densidad, este producto se transportará ocupando menos volumen (a igualdad de peso) que las leñas y astilla, y será más sencilla su manipulación (Maldonado, 2015).

1.5.5. Humedad

El factor de humedad es de vital importancia, ya que depende del tipo de biomasa con el cual se trabaje. Pero es importante resaltar que mientras más baja sea la humedad en la biomasa, mejor será el poder calorífico que posea. Existen diversos métodos de secado; sin embargo, dentro de las materias primas de biomasa forestal, la humedad debe estar por debajo del 50 % (Maldonado, 2015).

Si la biomasa contiene suficiente humedad, esta no desarrolla por completo la combustión, por lo que genera contaminantes al ambiente y efectos lesivos a la salud humana, por lo que la pérdida de energía en cumplimiento de la segunda

ley de la termodinámica se cumple y existe una pérdida de energía paulatina respecto al tiempo.

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

1.5.6. Aglutinantes

Son sustancias capaces de generar fuerzas para unir fragmentos, partículas de una o varias sustancias o materiales y dar cohesión al conjunto por métodos físicos, químicos o térmicos (Maldonado, 2015. Pág. 17). Pueden depender su procedencia, sean estos naturales o artificiales, y también su combustión y no combustión. Para fines practico-técnicos, los aglutinantes con una mejor aceptación, sin contaminar el ambiente, se encuentran los almidones de yuca, maíz, arroz, melaza, parafina y arcillas

1.5.7. Friabilidad

Capacidad de desmenuzamiento del material una vez realizado, esto es vital para que pueda ser utilizado como combustible en el momento de la ignición. En la prueba de poder calorífico, la briqueta debe ser desmenuzada de tal manera que se reduzca su tamaño a particular que puedan ser combustionadas y encontrar así sus propiedades caloríficas. La norma CEN/TS 15210 se refiere al cálculo de la durabilidad mecánica de la masa de la muestra que resulta de la metodología en donde puede separarse en partes o se erosiona el biocombustible.

1.6. Proceso de fabricación de briqueta

1.6.1. Triturado

El proceso de triturado es vital para la briqueta, ya que la materia prima que se obtiene por lo general esta con un nivel de agua que genera humedad. El material más conveniente para el uso de la materia, es el aserrín, por lo que este es vasto y existe en grandes cantidades, luego del tratamiento de las trozas de madera en un aserradero. Dicha materia es ideal para el proceso de tratamiento de la briqueta. La madera triturada tiene la propiedad de aprovechamiento de los recursos sobrante de aserraderos y también específicamente para la fabricación de briquetas por su composición en partícula <20 mm.

1.6.2. Secado

Este proceso requiere de un espacio adecuado para el secado de la materia prima para trabajar y de la briqueta como tal. La humedad es un factor importante en la fabricación y secado de las briquetas. Se debe tomar en cuenta que debe haber un tiempo prudencial de secado es de al menos dos a tres semanas para el secado completo. Sin embargo, en países desarrollados como Estados Unidos y China, existen máquinas que una vez fabricadas las briquetas salen secas luego de un proceso de horneado.

1.6.3. Aglutinante de almidón de yuca

En el municipio de Palencia, departamento de Guatemala, se puede encontrar diversidad de hortalizas para el consumo humano local. Comúnmente se pueden encontrar cultivos de hortalizas, leguminosas, café y caña de azúcar. A nivel regional es posible encontrar el tubérculo de yuca, no solo en Guatemala,

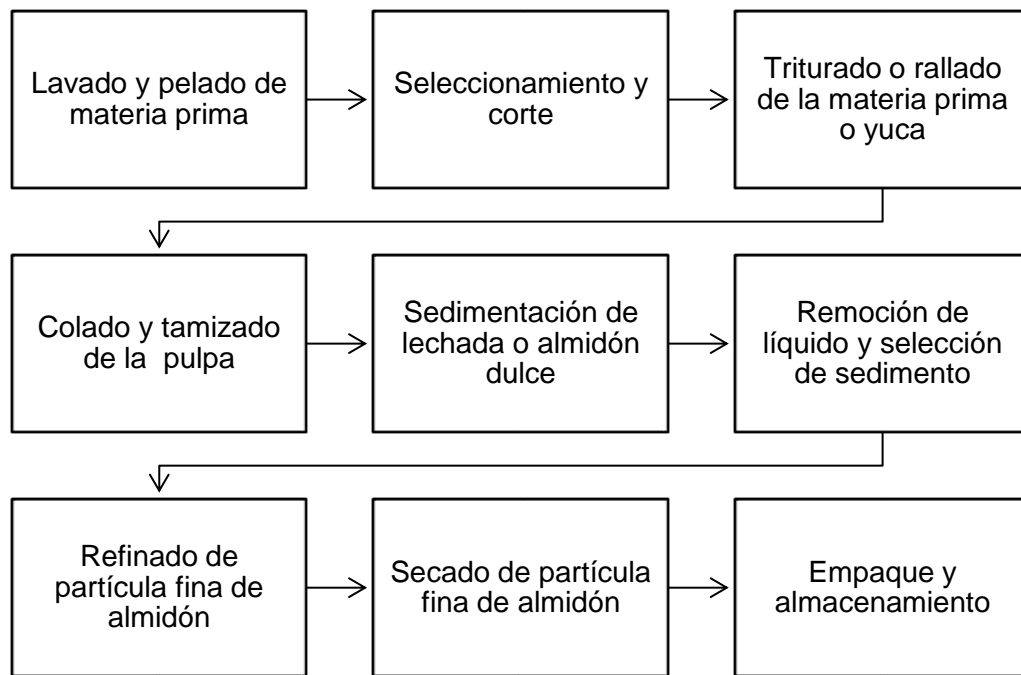
sino que además a nivel centroamericano, es un producto que aún no se explota por medio de exportaciones, ya que países como Costa Rica, exportan a países de la Unión Europea por el no pago de aranceles en comparación con otros países que si deben de pagar para exportar sus productos fuera de sus fronteras. Es común encontrar al tubérculo de yuca en mercados locales del municipio y en todo el país para el consumo humano y valor nutricional en calorías. Es posible encontrar algunas especies de yuca, que sean venenosos y nocivos para la salud y el consumo humano, se debe pasar por un proceso prolongado de cocción para la remoción de toxinas. El tipo de yuca *Manihot esculenta*, al ser producido para el consumo humano, es ideal en la elaboración de aglutinante para briquetas, ya que en el proceso de obtención de aglutinante es removido las toxinas contenidas en la pulpa. En algunas especies, también denominadas “amargas”, el proceso para la obtención de almidón es exactamente el mismo en donde se obtiene una molienda fina, a partir de la sedimentación de partícula fina. Es considerable incluir dentro del proceso, el secado directo al sol para remover las toxinas que puedan provocar daños a la salud en caso de ser ingeridas.

1.6.4. Proceso de obtención de almidón de yuca

El proceso consta de nueve etapas, en donde se considera al tubérculo de yuca natural triturado y sin cáscara o piel, de tal forma que, de la extrusión del triturado húmedo, se obtenga un líquido de color blanco o lechada. El líquido o lechada obtenido se deja reposar durante 8 horas, de tal manera que las partículas finas depositadas en el fondo por sedimentación se cuelen, y se dejen secar durante 48 horas a temperatura ambiente. Dentro de la etapa de sedimentación se obtiene el almidón dulce, el cual es el precedente a la fermentación. El resultado de la remoción de toda la humedad contenida de la sedimentación es una partícula fina que luego puede ser mezclada con agua para obtener un aglutinante natural. En un proceso industrial a partir de 100 kg de

yuca, se obtienen 231 kg a 234 kg de almidón con un 12 % de humedad tomando en cuenta el proceso descrito. El proceso de la obtención de almidón de yuca requiere de tecnología para la eficacia del mismo y el máximo aprovechamiento de la materia prima. El mismo proceso es posible replicarlo con métodos manuales en consideración de tiempo y recursos humanos para su obtención.

Figura 5. **Etapas del proceso para la obtención de almidón de yuca**



Fuente: Torres (2010)

1.6.5. Efectos a la salud sobre el uso de yuca

Las especies de yuca, entre las que se encuentran la *Manihot esculenta crantz*, poseen cantidades bajas y significativas de glicósidos, los cuales al ser procesado de forma adecuada es posible evitar que dichos tóxicos lleguen al producto final para la elaboración de briquetas. Para el consumo humano, la especie de yuca debe de pasar por un proceso de hervido antes de ser ingerido. En el proceso de para su obtención de almidón de yuca, el proceso de lavado y pelado de su cascara o corteza elimina los tóxicos.

La toxicidad de los glicósidos se manifiesta en la formación de cianuro que bloquea la capacidad que tienen los glóbulos rojos de llevar oxígeno directamente a la sangre. Una dosis mortal de cianuro en la sangre es de 1mg por kilo de peso corporal.

Dentro de las enfermedades que produce el consumo de yuca no tratada ni procesada de forma correcta se encuentra la neuropatía tropical, el konzo o paralizas espermática rápida y la neuropática atáxica.

Las enfermedades por la ingesta de yuca no tratada es una causa común en países de África, la yuca que se consume y se produce localmente en Guatemala, esta tratada bajo procedimientos que elimina su toxicidad y que puede ser comercializada para su consumo.

Para la fabricación de almidón de yuca seco o harina de yuca libre de tóxicos que puedan afectar a la salud de los operarios, se recomienda el seguimiento de los pasos que se enumeran a continuación:

- Lavado de las raíces o tubérculos de raíces para la eliminación de toxinas en la piel o corteza de la yuca.
- Rallado de raíces. El método utilizado puede ser manual o mecánico con ayuda de tecnología.
- Tamizado o colado para la separación del almidón.
- Sedimentación para la separación del contenido de agua y partículas finas.
- Secado al sol o por medio de hornos industriales.

Puede existir una sexta etapa en donde la remoción del agua contenida en la yuca se deja en fermentación para la obtención de almidón líquido agrio para conserva de sus propiedades con el paso del tiempo.

Se debe de considerar el tratamiento posterior de los gases producidos por la quema del almidón de yuca en grandes cantidades, por lo que el control sobre los procesos de tratamiento de limpieza y remoción de toxinas deben de estar regulados por entidades de salud en Guatemala, y seguimientos estrictos del protocolo de la obtención del almidón seco o harina de yuca para las empresas productoras.

1.7. Sostenibilidad

1.7.1. Sostenibilidad

Según el informe de Brundtland de 1987, el concepto de sostenibilidad enfrenta y contrasta el desarrollo económico actual. Por lo tanto, la sostenibilidad trata de satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin poner en peligro las posibilidades de desarrollo de las generaciones futuras. Y dentro de un bosque es referente a la capacidad de perdurar o continuar el recurso del bosque (Muralles, 2005). Los bosques deben de verse como una inversión y

como un producto del cual se puede obtener recurso. La leña debe ser un recurso que sea consumible en medidas considerables, también, en virtud de depender de él en plazos de 4 a 5 años. La especie en análisis es excelente para la obtención de recursos y además de poder estudiarlos para obtener su máxima eficiencia, debe ser un concepto que involucre a la sostenibilidad de la especie.

1.7.2. Sostenibilidad a través de bosques energéticos de la especie *Eucalyptus grandis*

Dentro del término de sostenibilidad y orientado a los bosques energéticos, se insiste en el Manejo Forestal Sostenible (MFS), con el fin de reiterar en el “Mantenimiento de las capacidades de producción a niveles que por lo menos, impidan la disminución de los recursos y que, a lo sumo, den a las futuras generaciones la oportunidad de disfrutar una medida de consumo igual al de las generaciones presentes (Muralles, 2005)”.

El manejo forestal se define como el aprovechamiento sostenible de los productos deseados y de los servicios ambientales que provee el bosque, sin reducir sus valores inherentes ni su productividad futura (Muralles, 2005). Un manejo, se define como un conjunto de actividades que concretizan la ordenación del bosque.

1.8. Delimitación geográfica

El municipio de Palencia en el departamento de Guatemala contiene una serie de superficies de bosques, según sus datos, alguno es inexplorados y otros están bajo fincas privadas. Cuenta con una total de 4,201.55 hectáreas con cobertura forestal, principalmente de especies como encino y variedades de pino

ciprés. Las áreas forestales se encuentran de forma dispersa y la mayoría están en rodales no mayores a dos hectáreas (MAGA, 2009).

Según datos obtenidos en el mapeo participativo, existen más de 300 manzanas bajo manejo forestal, datos confirmados por el INAB (MAGA, 2009).

Existen 75 áreas con bosques bajo manejo forestal en el municipio, 21 se encuentran bajo el programa de incentivos forestales PINFOR con área de 199 manzanas (139.46 Has) y 54 de 284.14 manzanas (198.90 Has) bajo un sistema de explotación tradicional (MAGA, 2009).

Tabla II. **Datos meteorológicos del municipio de Palencia Guatemala**

Altitud	Precipitación anual	Temperatura Max Media anual
1400 msnm	1,298 mm	22.4 °C

Fuente: INSIVUMEH Estación automática de San Pedro Ayampuc

Se tiene la cantidad exacta de los bosques naturales y bosques plantados sin explotación respectivamente para el municipio de Palencia. En los últimos 5 años se ha estado trabajando por parte de la Municipalidad de Palencia en programas de reforestación en la que se involucra a niños de distintas escuelas en programas de reforestación de áreas. También existe el programa de PINFOR, en donde se otorga beneficios económicos a quienes reforestan en terrenos propios.

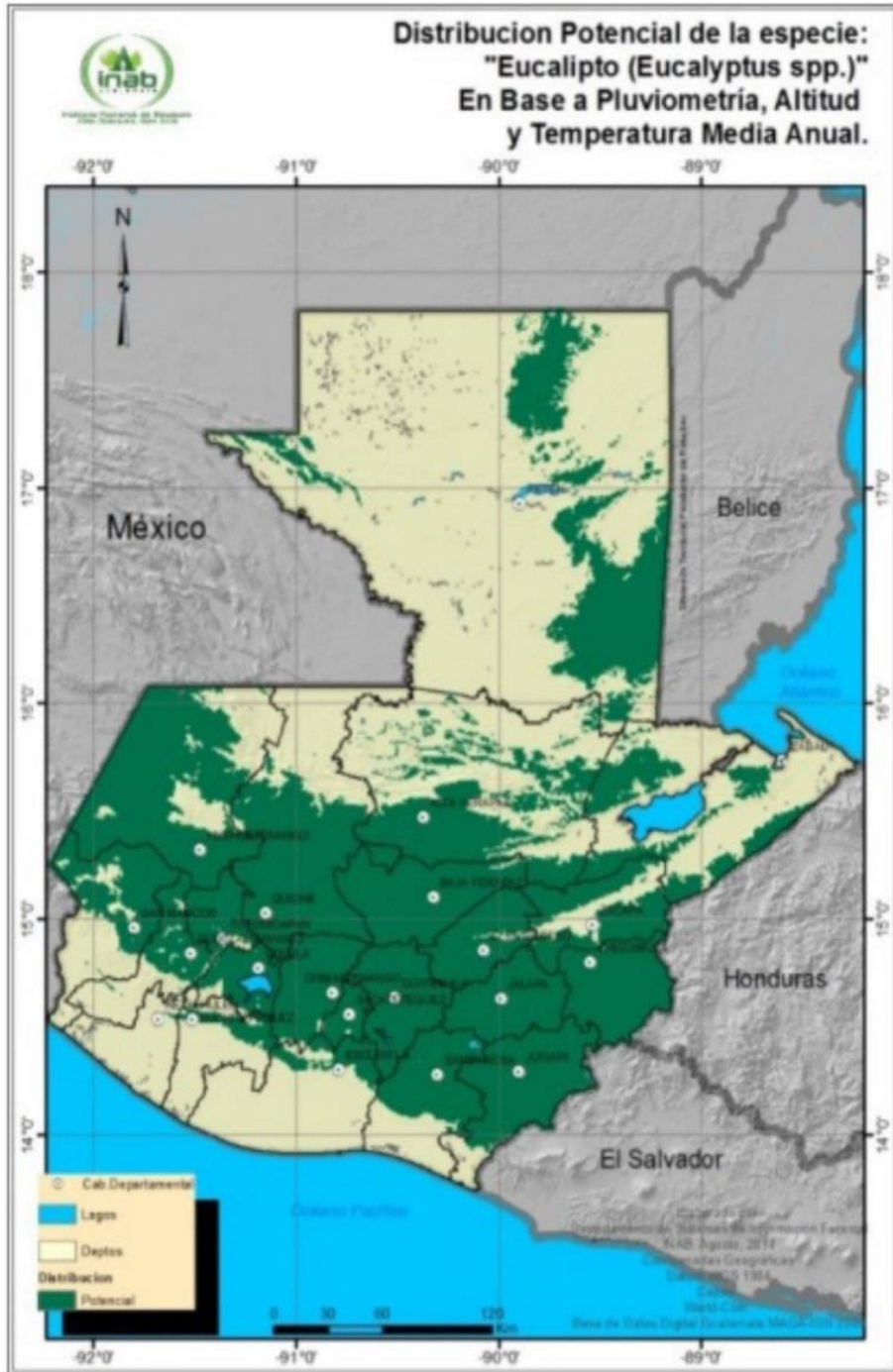
Tabla III. **Descripción de área de bosques en el municipio de Palencia**

	Bosques plantados	Bosques naturales
Explotación	9.78 ha	10.48 ha
Superficie	64.71 ha	500 ha
No explotación	17 ha	56 ha

Fuente: Plan de desarrollo municipal SEGEPLAN

El mapa de la distribución potencial de la especie de eucalipto se extiende en la región central de Guatemala, según la Guía de Especies Forestales de INAB (2006), abarcando todo el departamento de Guatemala y sus municipios incluido el municipio de Palencia.

Figura 6. **Distribución potencial de la especie de eucalipto**



Fuente: Guía de especies forestales para leña INAB 2016.

1.9. Protocolo para medición de eficiencia energética

La prueba WBT o prueba para la ebullición de agua por sus siglas en inglés (*Water Boiling Water*), es un proceso de simulación para la medición de la eficiencia de los biocombustibles en estufas ahorradoras de leña y cuantificar los tiempos de ebullición para muestras de agua en ollas de aluminio.

Existen limitantes dentro del protocolo y condiciones que se deben de cumplir para realizar la prueba de forma exitosa, se enumeran los siguientes aspectos:

- La prueba se desarrolla en ambientes controlados de laboratorio.
- Asegurar el funcionamiento del diseño de estufas para combustibles específicos.
- Selección de productos específicos como biocombustibles para las pruebas.
- Simula el proceso de cocción o ebullición de agua basado en técnicas de expertos en laboratorio.

Las pruebas del protocolo WBT se desarrollan en dos fases para la evaluación de la estufa ahorradora en estudio y análisis, la primera de las pruebas es conocida como Inicio en frío, y se desarrolla en el momento inicial, con el agua a temperatura ambiente, iniciadores para la ignición del combustible en análisis, equipo de medición como termómetros y medición de gases que emanan de la cocción.

Se describe el equipo inicial utilizado en el protocolo WBT para la medición de la eficiencia del combustible en su etapa 1 o inicio en frío:

- Estufa diseñada para el ahorro de leña.
- Olla de aluminio con capacidad para 5 litros de agua.
- Ambiente controlado cerrado y chimeneas.
- Equipo de medición.
 - Termómetros de mercurio y termómetros electrónicos
 - Higrómetros
 - Cronometro o reloj
 - Pirómetros laser
 - Balanza
 - Medidor de gases
- Cuatro kilogramos de combustible o madera a analizar.
- Campana para emisión de gases contaminantes.
- Tabla de cotejo para evaluación de datos.
- Cepillos, palas y tenazas para la remoción de cenizas.
- Equipo de protección personal.
- Equipo contra emergencias.

La segunda fase del protocolo WBT es conocida como inicio en caliente y es específico para la medición de la eficiencia de la estufa ahorradora, luego de la finalización de la primera etapa en donde se alcanza las temperaturas deseadas, se limpia la estufa de cenizas de tal manera que la estufa esté a la temperatura antes alcanzada, se procede con la ignición de los combustibles a evaluar y se mide el tiempo alcanzado de las temperaturas deseadas o de punto de ebullición. El líquido en las ollas debe de estar a temperatura ambiente.

Las consideraciones generales para la realización de la prueba de WBT se describen a continuación:

- Seguridad del operador o persona quien evaluara el protocolo WBT.
- Hacer uso de lentes protectores industriales.
- Hacer uso de guantes térmicos para la protección contra el calor.
- Utilizar bata de laboratorio industrial.
- Utilizar botas con punta de acero para la protección de los dedos y pies.
- Utilizar ropa adecuada para la prueba y protección como camisas con mangas largas y pantalón.
- Limpieza del laboratorio en operación.
- No permitir la entrada de terceras personas a presenciar la prueba por la variación que puede existir en los resultados.

2. FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS

2.1. Disponibilidad de la biomasa en el municipio de Palencia

El municipio de Palencia está dividida en micro regiones, según el diagnóstico territorial de SEGEPLAN de 2009. En la micro región III se encuentra la mayor área forestal dedicada para su conservación. Dentro de esta micro región se cultiva de legumbres como tomate, cebolla, papa y yuca entre otros tubérculos. Entre las aldeas en condiciones ambientales están las aldeas de Sanguayabá y El Paraíso y El Fiscal para el cultivo de hortalizas apoyado por la Municipalidad de Palencia con sus programas de reforestación y viveros municipales con gran cantidad de especies entre hortalizas y especies latifoliadas como eucaliptos torreliana, entre otros.

En todo el municipio existe adaptabilidad, posee suelos de tipo volcánico como aquellos que son de poca fertilidad, altitud hasta 27000 msnm, precipitación anual de 1000 a 2500 mm (INAB, 2016), con lo que es propicio el cultivo controlado de bosques de eucalipto.

Se obtuvo una muestra de madera de árboles locales de eucalipto y encino en la región del municipio de Palencia, específicamente en la aldea el Fiscal a 22 Km de la ciudad capital en el departamento de Guatemala, coordenadas geográficas 14° 39' 53" N y 90° 21' 31" W.

Así mismo se obtuvo información y muestras de la especie de los bosques energéticos del Ingenio Pantaleón Concepción a 62 Km de la ciudad capital en el

departamento de Escuintla, coordenadas geográficas 14° 19' 41.73" N y 90° 47' 31.36" W.

Las muestras de la especie utilizadas para la elaboración de briquetas fueron las obtenidas de los laboratorios del Ingenio Pantaleón, debido a su control estricto y preciso del período de vida específicamente seis años los cuales abarcan desde la siembra hasta la etapa de corte del bosque energético, así mismo por el control de mantenimiento de bosques de la especie. Se consideró también la similitud de las condiciones ambientales como temperatura, altitud y precipitación pluvial anual. Los datos de clima para la región de Santa Lucia Cotzumalguapa es una media anual de 25.7 ° C y precipitación es de 3156 mm al año.

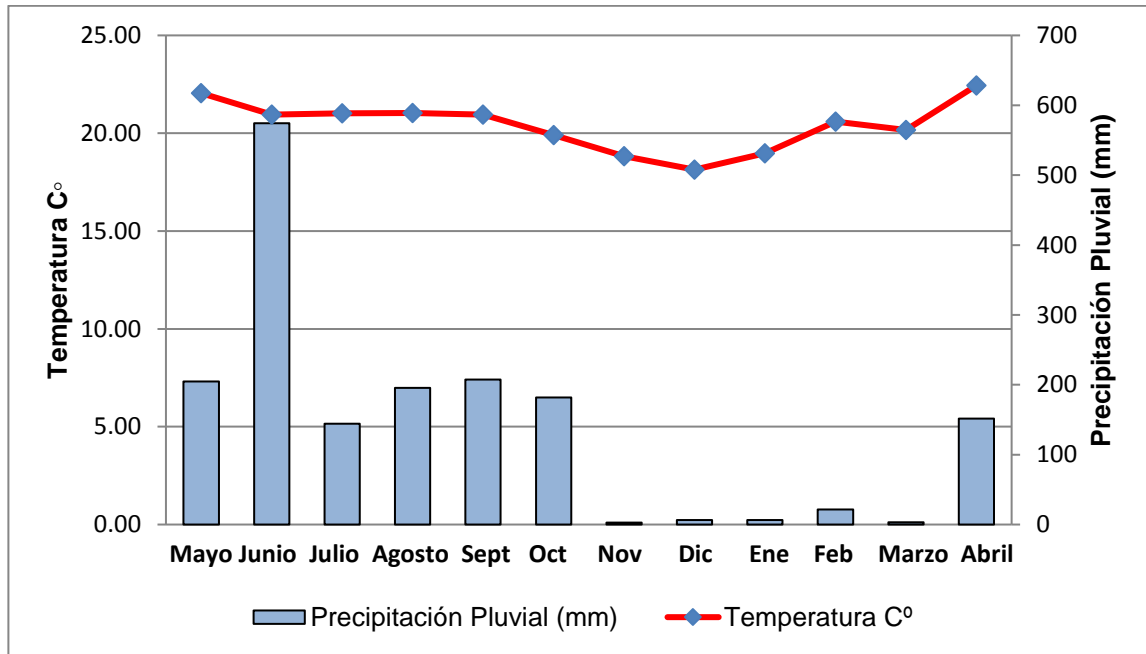
Las condiciones de temperatura se muestran a través de un climograma del último año de registro con datos de la estación más cercana al municipio de Palencia, la cual es la estación automática de San Pedro Ayampuc, y que forma parte de las estaciones meteorológicas monitoreadas por el INSIVUMEH.

Tabla IV. Datos de temperatura y precipitación pluvial municipio de Palencia año 2017

	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura Media C°	18.98	20.58	20.16	22.44	22.05	20.96	21.02	21.04	20.95	19.90	18.83	18.14
PP acumulada (mm)	6.6	21.4	3.4	151.4	204.8	574.4	144.5	195.8	207.6	181.8	2.6	6.6
% HR media	0.41	0.44	0.43	0.47	0.46	0.44	0.44	0.44	0.44	0.43	0.42	0.41

Fuente: INSIVUMEH Estación automática de San Pedro Ayampuc.

Figura 7. **Diagrama climático Palencia Guatemala 2017**



Fuente: INSIVUMEH Estación automática de San Pedro Ayampuc.

Tabla V. **Resumen de datos climatológicos**

Temp media °C	Desviación Estándar	Temp min °C	Temp máx °C	PP Acumulada mm	% HR media
20.42	1.23	18.14	22.44	1,700.9	0.44

Fuente: INSIVUMEH Estación automática de San Pedro Ayampuc.

2.2. Procesamiento de la materia prima

2.2.1. Triturado de la especie *Eucalyptus grandis*

El chip de madera de eucalipto se obtuvo bajo el proceso de una trituradora industrial, en el departamento de Escuintla, dentro de las instalaciones de Ingenio Pantaleón Concepción, actualmente se hace uso de Eucalipto urograndis, grandis y otros clones de eucalipto para uso industrial en donde es utilizado para combustible de calderas.

Figura 8. Trituradora y cuchillas de corte



Fuente: Ingenio Pantaleón Concepción.

Tabla VI. **Especificaciones técnicas de la trituradora forestal**

Trituradora forestal de tambor estacionaria Lippel PFL 500 x 900 M-C
Combustible Diesel
Producción: 120 m ³ /h
Tamaño de chip: 20-45mm

Fuente: Ingenio Pantaleón Concepción.

Se obtuvieron un total de 90 kilos (198.41 lb) de chip de eucalipto que contenía madera, ramas pequeñas y corteza como muestra para la elaboración de briquetas.

Se descarta el uso de raíz por el tratamiento extra que conlleva el limpiado de los residuos de suelo y su uso de agua para el proceso.

2.2.2. Secado de la muestra

La muestra tuvo un período de secado a temperatura ambiente durante tres meses (mayo, junio y julio). El proceso de secado consideró la extensión de la muestra sobre una superficie plana, bajo techo a temperatura ambiente. Se consideró la remoción de la muestra cada cuatro días, para evitar la acumulación de humedad en la muestra. Se debe evitar el contacto con plagas de insectos y roedores, por lo que el área se mantuvo limpia y segura.

Bajo el proceso de secado, se logró reducir el nivel de humedad de la muestra en un 40 % sobre toda la muestra, tomando muestras de 10 unidades para la verificación uniforme de la humedad. El secado de la muestra tuvo lugar en el Laboratorio de Tecnología de la Madera en USAC.

Figura 9. **Muestra de madera de eucalipto del municipio de Palencia, departamento de Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

La tabla siguiente describe el valor de media obtenido para una muestra de diez mediciones sobre el chip o astilla de madera de eucalipto. Asimismo, se incluye el valor de desviación estándar sobre las mediciones, los cuales revelan la uniformidad de las mediciones y el alejamiento mínimo sobre el valor de media. Tamaño de la muestra 1 kg de chip o astilla de eucalipto.

Tabla VII. **Humedad de la muestra chip de madera de eucalipto**

Media %humedad	Desviación estándar	% min	% máx
15.3	1.68	16.9	24.2

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Características del higrómetro**

Higrómetro electrónico Timbermaster Protimeter
Resolución 0.1
Rango 6 %-99.9 %
Rango de medición de temperatura -10°C y 40°C.
Peso 150 g
Dimensiones 180x28x49 mm

Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC

2.2.3. Molienda

La molienda se trabajó en el Laboratorio de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC, ésta consideró un molino de martillos con una criba de 1/4", el proceso de molienda tuvo una duración de tres días. Con el resultado de la molienda, se obtuvieron partículas de 5mm a 10mm. Se realizó un segundo proceso de molienda del aserrín para que la muestra fuera apta para las pruebas de poder calorífico en el MEM. La norma DIN 51731 alemana determina que la partícula utilizada para la elaboración de briquetas debe de ser menor a <15mm.

El proceso considero un molino de muelas y martillos con una criba de 1/16” obteniendo partículas menores a 1mm.

Tabla IX. **Características técnicas para molino proceso No. 1**

Molino de martillos
Motor trifásico MOTOVARIO 220 VAC
Criba 1/4”
Tamaño de partícula: 5mm, 10mm
3 HP
Estándar Internacional IEC

Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Tabla X. **Características técnicas para molino proceso No. 2**

Molino de martillos y muelas para triturado en seco
Motor trifásico 220 VAC
Criba 1/16”
Tamaño de partícula: <1mm
3/4 HP
Estándar Internacional IEC

Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

2.2.4. Análisis de granulométrico

Para determinar el porcentaje de las partículas utilizadas en cada briqueta, se procedió con el análisis de granulometría por medio del equipo, para tamizar perteneciente al Laboratorio de Tecnología de la Madera en el campus central de USAC. Para el análisis se han utilizado un total de 7 tamices un tamizadora motorizada Humboldt, los detalles característicos de la prueba se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XI. **Características técnicas del proceso de tamizado**

Norma ASTM Internacional E11
Agitador de Tamices motorizado Humboldt
Tiempo de tamizado 10 min
¼ HP
Muestreo: 3 corridas
Peso por corrida: 0.14 kg

Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Las condiciones de trabajo, en el laboratorio de Tecnología de la Madera están basados en los requerimientos establecidos, según el protocolo interno del laboratorio para la operación con tamices, se consideró, así, la temperatura, humedad relativa y hora de inicio de la prueba de tamizado.

Para el inicio de la prueba, se comprobó la limpieza del área de trabajo, así como de cada uno de los tamices y de la tamizadora en función. Para la remoción de partículas, se procedió a utilizar cepillos de cerda gruesa plástica.

Tabla XII. **Condiciones de trabajo para tamizado**

Temperatura	Humedad relativa	Hora
21.9 °C	85 %	10:30 am

Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Para la realización de la prueba, se procedió con un total de tres corridas con 10 minutos de tamizado por cada prueba. Se determinó que existe un porcentaje >50 % de partícula fina, según la normativa ASTM E11.

Tabla XIII. **Características de balanza para medición de proporciones**

Balanza electrónica RADWAG WLY 2/D2
Max capacidad 2kg; d= 0.01g
Dimensión del platillo 195x192 mm
Alimentación +12 VDC
Tiempo de estabilización 3 s

Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Se describe en las siguientes tablas, el resultado de cada una de las corridas con muestra equivalente al peso de una briqueta finalizada. El resultado corresponde a una repetición de las unidades con una variación del 0.2 % promedio, entre los resultados.

Tabla XIV. **Porcentaje obtenido por tamiz corrida No. 1**

Tamizador	Tamiz/sieve NO.	Tamaño de partícula	% Retenido	% Acumulado pasante
1	No.4	4.75mm	0.98 %	99.02 %
2	No.8	2.36mm	18.12 %	80.90 %
3	No.10	2mm	9.72 %	71.18 %
4	No.30	600 μ	57.73 %	13.45 %
5	No.40	425 μ	6.18 %	7.27 %
6	No.60	250 μ	4.39 %	2.88 %
7	No.100	150 μ	1.47 %	1.41 %
8	Base	Base	1.41 %	0.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Porcentaje obtenido por tamiz corrida No. 2**

Tamizador	Tamiz/sieve NO.	Tamaño de partícula	% Retenido	% Acumulado pasante
1	No.4	4.75mm	1.36 %	98.64 %
2	No.8	2.36mm	18.29 %	80.36 %
3	No.10	2mm	10.24 %	70.11 %
4	No.30	600 μ	54.01 %	16.10 %
5	No.40	425 μ	6.39 %	9.71 %
6	No.60	250 μ	5.05 %	4.66 %
7	No.100	150 μ	1.88 %	2.78 %
8	Base	Base	2.78 %	0.00

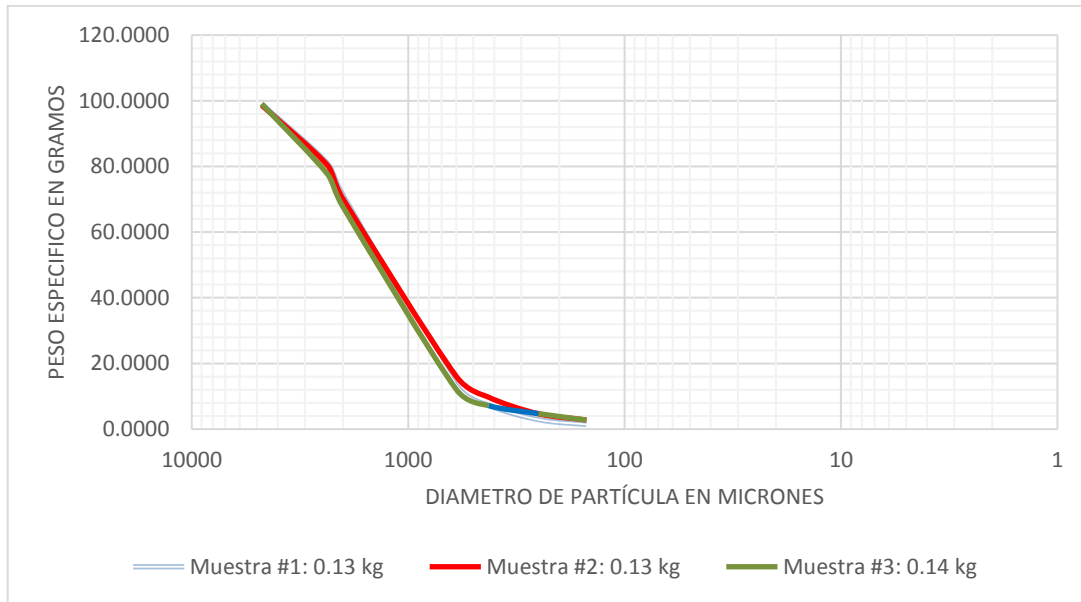
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Porcentaje obtenido por tamiz corrida No. 3**

Tamizador	Tamiz/sieve NO.	Tamaño de partícula	% Retenido	% Acumulado pasante
1	No.4	4.75mm	0.91 %	99.09 %
2	No.8	2.36mm	21.42 %	77.66 %
3	No.10	2mm	9.99 %	67.67 %
4	No.30	600 μ	55.55 %	12.12 %
5	No.40	425 μ	4.96 %	7.15 %
6	No.60	250 μ	2.45 %	4.71 %
7	No.100	150 μ	1.94 %	2.77 %
8	Base	Base	2.77 %	0.00

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Curva granulométrica para moliendas de eucalipto**



Fuente: elaboración propia.

2.2.5. Mezcla

Para determinar las primeras muestras de las proporciones a nivel experimental y lograr una base sólida de briqueta, se realizaron proporciones bajas de aglutinante, las cuales afectaron a la friabilidad de la briqueta, se realizaron 3 pruebas con proporciones menores al 30 % de aglutinante, como resultado de esto fue que la mezcla no es completamente homogénea y por lo tanto, se desmoronan. Se tomó en cuenta que cada briqueta debe de tener un peso de 0.22 kg, el cual incluye el aglutinante fresco. Las proporciones se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XVII. **Proporciones de mezcla para briquetas**

Proporción utilizada de mezcla para briquetas 0.22 kg	Peso en kg
60 % Aserrín – 40 % aglutinante Óptimo	0.14 kg de aserrín y 0.091 kg de aglutinante.
70 % Aserrín – 30 % aglutinante No óptimo	0.158 kg de aserrín y 0.068 kg de aglutinante

Fuente: elaboración propia.

En la mezcla, se utilizó almidón de yuca, el cual es procesado y comercializado como harina en los mercados locales de Palencia, la mezcla que se utilizó fue 0.45 kg por 2 litros de agua para 4 kg de aserrín de eucalipto. La mezcla es llevada a baño maría durante 15 minutos a fuego lento hasta lograr una mezcla homogénea de color blanco transparente.

Figura 11. **Proceso de mezcla de aserrín de eucalipto con aglutinante**



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

2.2.6. Compactación de la mezcla en forma de briqueta

Se hizo uso de una prensa industrial de 50 toneladas marca Mega, en la cual se compactaron las probetas de acero (moldes) con la mezcla a una presión de 10 ton Kg/cm² durante 5 minutos por briqueta. El detalle de las características de la compactadora, se describe en la siguiente tabla.

Tabla XVIII. **Características de prensadora hidráulica**

Prensa industrial hidráulica MEGA 50t chasis ancho
Modelo KCK-50
Pistón de retorno automático
Fuerza máxima toneladas: 50
Altura total: 1500 mm
Espacio entre columnas. 720 mm
Peso: 191 Kg
UE CE Certificación

Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Figura 12. **Probetas de acero y prensa hidráulica de 50 toneladas Kg/cm²**



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Tabla XIX. **Características de probeta**

Diámetro	Diámetro de tapa	Altura	Materia	Capacidad compactada
0.110 m	0.105 m	0.064 m	Acero laminado	0.14 kg

Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

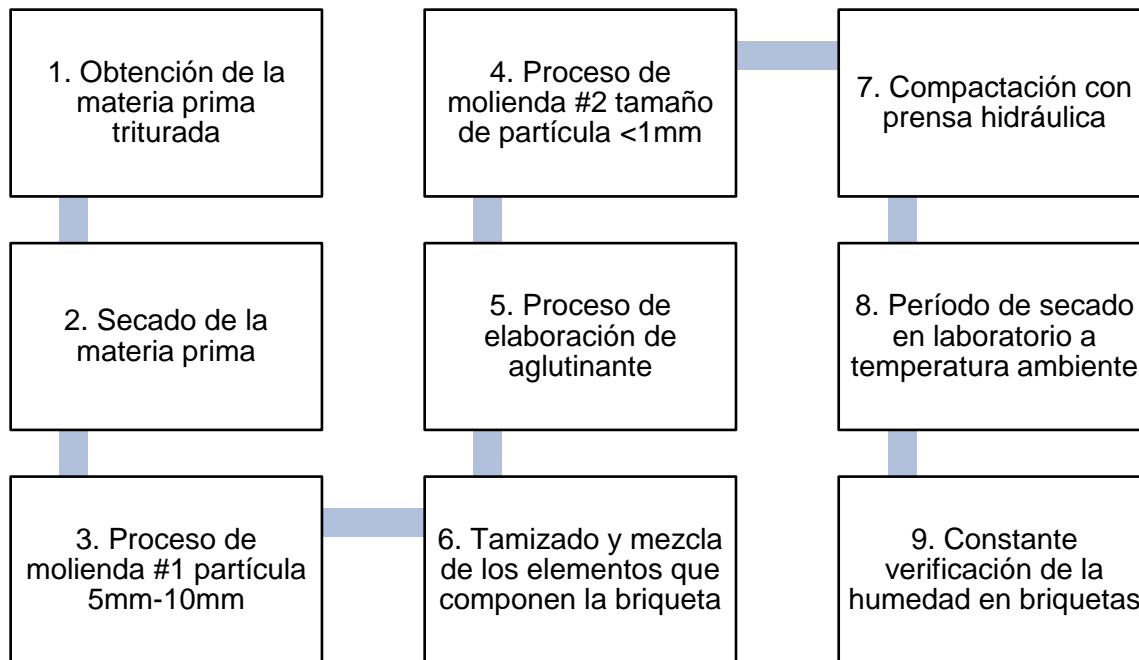
Luego del proceso de compactación se obtuvo una densidad por cada briqueta de 0.27 g/cm³. Cada briqueta final tuvo un peso de 0.14 kg en el momento de la compactación tomando en cuenta el aglutinante adherido durante el proceso de mezcla. La descripción de los detalles se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla XX. **Densidad de la briqueta**

Espacio ocupado	Densidad
Radio=0.055 m; h=0.064 m; $A=\pi*r^2$	Masa=0.14 kg = 140.0 g
510.51 cm ³	140 g/510.51 cm ³ = 0.27g/cm ³

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Resumen del proceso de elaboración por briqueta**



Fuente: elaboración propia.

3. ESTUDIO ENERGÉTICO Y FINANCIERO

3.1. Poder calorífico de briquetas de eucalipto

La primera muestra molida considero únicamente la madera de eucalipto sin aglutinante, la cual pasó por un seguro proceso el molino de muelas y martillos quedando un polvo fino el cual se preparó en bolsas plásticas con el contenido de 0.45 kg para ser analizada por el Laboratorio de Hidrocarburos del MEM. La muestra fue llevada el día viernes 25 de agosto de 2017. Los resultados fueron entregados siete días después.

Se procesó una segunda muestra, la cual consideró la aplicación de aglutinante en un 40 % sobre el peso total, el proceso pasó por el secado de la muestra en horno industrial a 130 grados centígrados de temperatura durante 5 horas. El resultado se molió nuevamente en el molino de muelas durante un tiempo de molido de 1 hora. La muestra fue llevada al MEM, el día viernes 1 de septiembre de 2017. Los resultados fueron entregados siete días después.

Figura 14. **Mezcla horneada de aserrín tamizado con 40 % aglutinante de almidón de yuca**



Fuente: elaboración propia.

La mezcla con base seca, se llevó al Ministerio de Energía y Minas, específicamente al Laboratorio de Hidrocarburos en donde se realizaron tres análisis, los cuales fueron:

- Poder calorífico superior (base seca)
- Contenido de ceniza
- Humedad

Tabla XXI. **Datos dados del análisis realizado en el Laboratorio de Hidrocarburos del MEM**

Correlativo	Muestra	Poder calorífico	Ceniza % masa	Humedad % masa
1	Muestra 1: Aserrín de la especie: <i>Eucalyptus grandis</i>	19.33 MJ/kg	0.900	5.00
2	Muestra 2: Aserrín de la especie: <i>Eucalyptus grandis</i> con 40 % de aglutinante de almidón de yuca.	19.21 MJ/Kg	0.620	2.80

Fuente: elaboración propia.

3.2. Briqueta

Se consideró una probeta de acero de laboratorio con las dimensiones de 11 cm de diámetro y 5 cm de alto, las cuales tienen una capacidad para ½ libra o 0.22 Kg de mezcla de aserrín y aglutinante. Las briquetas compactadas fueron secadas en las instalaciones del Laboratorio de Tecnología de la Madera USAC

durante 15 días a temperatura ambiente para remover toda la humedad contenida en su interior. Cada briqueta seca tuvo un peso medio de 0.14 kg.

Figura 15. **Briquetas elaboradas en laboratorio con referencia de billete y moneda nacional**



Fuente: elaboración propia.

3.3. Leña

Basado en el mapa de eco regiones del IARNA (2009), el departamento de Guatemala se encuentra en una región de bosques de pino, encino y de especies latifoliadas. Existe en todo el municipio la facilidad de adquisición de leña de encino de bosques cercanos, para el consumo diario dentro de la población. La aldea El Fiscal es una de más pobladas y cercanas a la ciudad capital de Guatemala; sin embargo, existe una alta dependencia al combustible de leña. La muestra de encino se procedió a adquirir en un negocio local en la aldea El Fiscal, se consideró la compra de cuatro leños de encino a un costo de Q5.00, por leño en troza. Cada leño tenía una humedad por encima del 40 %, por lo que para la realización de la prueba fue necesario un horno industrial eléctrico por convección, para reducir la humedad hasta un 10 %.

Se procede a cortar los trozos de leña de tal manera que exista uniformidad en trozos más pequeños, se recomienda utilizar medidas de 4cm x 4cm x 40 cm. Se realizó una comparación de tiempos de eficiencia con muestra de leña contra el uso de briquetas. Dicha realización de la comparación se trabajó con una estufa ahorradora tipo Aler 2 utilizada para investigación en el Laboratorio de Tecnología de la Madera en USAC. La leña de encino para la prueba es proveniente de un bosque de 20 años en el municipio de Palencia.

Figura 16. **Leña de encino**



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

3.4. Proceso del protocolo WBT Water Boiling Test

El proceso del protocolo WBT, consideró el calentamiento hasta el punto de ebullición de 5 litros de agua haciendo uso de 4 kilogramos de leña y 4 kilogramos briquetas en su fase inicial por prueba. Se midió el punto de ebullición del agua, por medio de un termómetro de mercurio y electrónico, hasta el punto de ebullición entre 92°C y 100°C. Cada procedimiento del protocolo WBT, se describe en los siguientes apartados.

Tabla XXII. **Temperaturas y condiciones de laboratorio al inicio de del Protocolo WBT**

Muestra	Hora/Temperatura ambiente
Briquetas de <i>Eucalyptus grandis</i> y 40 % Aglutinante (14 briquetas) 1.80 Kg – Peso total	Temperatura ambiente 22. 1° C % humedad: 89 % Hora de inicio de la prueba: 8:51 AM Hora de finalización de la prueba: 10:31 AM Tiempo total de la prueba: 1 hora y 40 min
Leña común 2.63 Kg – peso total	Temperatura ambiente 21.0 ° C % humedad: 81 % Hora de inicio de la prueba: 9:45 AM Hora de finalización de la prueba: 11:13 AM Tiempo total de la prueba: 1 hora y 30 min

Fuente: elaboración propia.

Haciendo uso de una estufa ahorradora Aler 2 de dos horillas y plancha de metal de laboratorio, se midió la eficiencia haciendo uso de 14 briquetas de biomasa de eucalipto como combustible con un peso total de 1.8 kg. Posteriormente, se realizó la prueba con 2.63 kg de leña de encino.

Figura 17. **Dimensiones de la estufa Aler 2**

Dimensiones: 0.80m de largo; 0.40m de ancho hornilla; 1.00m de alto; 0.83m ancho total
Entrada o boquilla: 0.23m de ancho; 0.12m de alto; 0.75m profundidad cámara de combustión.
Material: 2 x Hornillas de metal
Estructura exterior: Metal.
2 x soportes laterales 0.215m cada uno; ambos lados.
Chimenea

Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Figura 18. **Estufa ahorradora de leña Aler 2**



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Figura 19. **Briquetas en estufa ahorradora Aler 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Leña de encino en estufa ahorradora Aler 2**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Tiempos de comparación entre uso de briquetas y leña común para hervir 5 litros de agua**

Muestra	Tiempo Prueba 1
Briquetas de <i>Eucalyptus grandis</i> y 40 % Aglutinante (14 briquetas) 1.8 Kg – Peso total	1 hora y 40 min
Leña común 2.63 Kg – Peso total.	1 hora y 30 min

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Temperaturas máximas y mínimas para la realización de Protocolo WBT**

Muestra	Temperatura inicial del agua	Temperatura media del agua	Temperatura final del agua
14 briquetas de <i>Eucalyptus grandis</i> con 40 % Aglutinante 1.8 Kg – peso total	19.4° C	69.53° C	92.4° C
Leña común 4 kg – peso total	18.0 ° C	57.41 ° C	91.5 ° C

Fuente: elaboración propia.

La parte final para la medición de eficiencia del combustible en la estufa, es la comparación que existe entre la cantidad de ceniza que se ha producido de las pruebas, en cantidad de ceniza utilizando briquetas y cantidad de ceniza

utilizando leña común de encino. La tabla siguiente muestra los datos obtenidos y comparados, tomando en cuenta la tasa de cambio en porcentaje.

Tabla XXV. **Comparación de cantidad de ceniza entre uso de briquetas y leña común, para hervir 5 litros de agua**

Muestra	Cantidad de ceniza kg	Porcentaje utilizado
Briquetas de <i>Eucalyptus grandis</i> y 40 % Aglutinante (14 briquetas) 1.8 Kg – Peso total	0.34 kg	82 %
Leña común 2.63 Kg – Peso total	0.25 kg	90.5 %

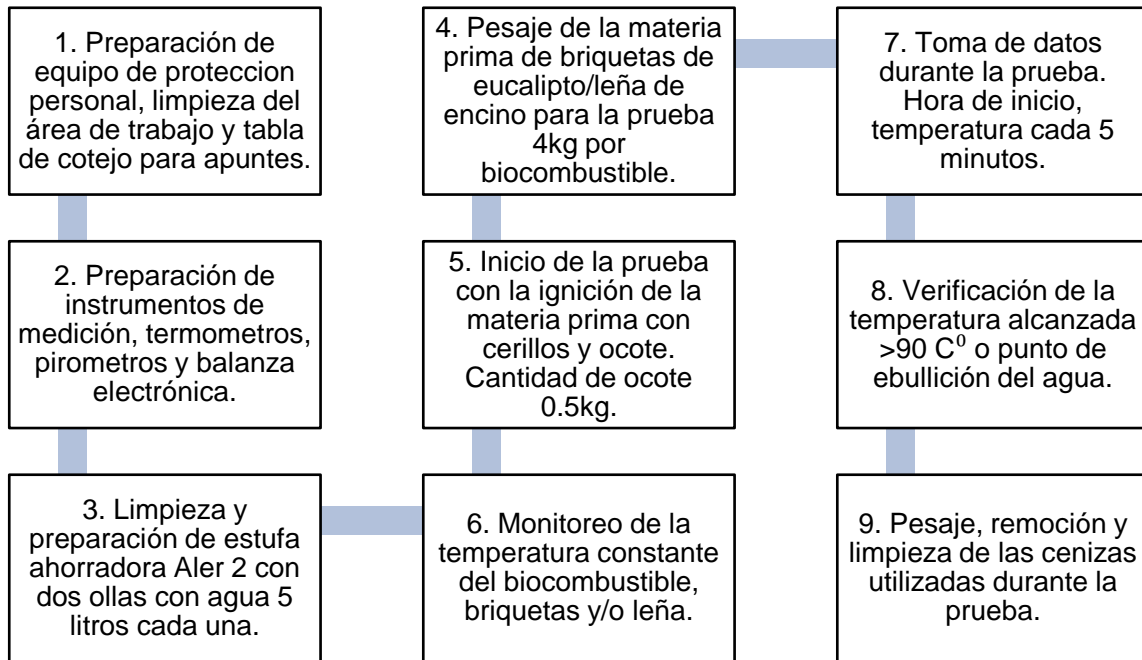
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Ceniza de briquetas de la prueba WBT**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Proceso para la comprobación de eficiencia de biocombustibles**



Fuente: elaboración propia.

3.4.1. Prueba de eficiencia del biocombustible

Se consideró el uso de la fórmula de eficiencia energética de la leña, según la FAO para la determinación de la eficiencia entre distintos tipos de leña. No se considera la limpieza de hollín acumulado en las chimeneas, ya que la prueba simula un escenario real en estufas de uso diario. La limpieza de la cámara de quemado en cada estufa si es obligatorio como parte del protocolo WBT.

Eficiencia de leña= $D \cdot P$ [Ecuación 1]

En donde:

D= Diferencia de masas entre pesos inicial y final (kilogramos)

D= Peso inicial – Peso de cenizas post-combustión.

P=Poder calorífico de la muestra de leña (MJ/kg).

La cantidad de poder energético de la leña común, se tomó como 3600 Kcal/kg por tener un método de secado natural.

3.5. Análisis financiero

El análisis financiero está basado en los precios actuales sobre tonelada de materia prima de eucalipto, incluyendo los costos de triturado, aglutinante y transporte. En el análisis se considera la herramienta de punto de equilibrio para la obtención de utilidades, luego de la consideración de costos fijos y costos variables. Para la recuperación de la inversión inicial, se consideró un precio de mercado por cada briqueta de Q1.00 en el mercado local luego de invertir en costos de mantenimiento de maquinaria, alquiler y costos de empleado por mes. La recuperación del costo inicial de inversión, según la herramienta del punto de equilibrio es de 2.33 toneladas trabajadas considerando todos los gastos descritos en las tablas.

En análisis está orientado al consumo local de briquetas como biocombustible sustentable, así como, considerar otros mercados departamentales para consumo.

3.5.1. Punto de equilibrio

El análisis se basó en el método de punto de equilibrio para encontrar el punto en donde la inversión inicial se recupere, de tal forma que, genere utilidades. Tienen en consideración costos fijos y costos variables. Para la consideración de operación, se consideró la operación de costos por tonelada de materia prima, incluyendo aglutinante y transporte.

$$\text{Punto de equilibrio (P.E.Q)} = \frac{\text{Costos Fijos Totales (C.F)}}{\text{Margen de Contribución Unitario (M.C.U)}} \quad \text{[ecuación 2]}$$

$$\text{M.C.U} = \text{Precio de Venta Unitario (P.V)} - \text{Costo Variable Unitario (C.V.U)} \quad \text{[ecuación 3]}$$

$$\text{P.E.Q} = \frac{\text{C.F}}{\text{P.V} - \text{C.V.U}} \quad \text{[ecuación 4]}$$

$$\text{P.E.Q} = \frac{\text{Costos Fijos Totales}}{1 - \left(\frac{\text{Costos Variable Unitario}}{\text{Precio de Venta Unitario}}\right)} \quad \text{[ecuación 5]}$$

3.5.2. Descripción de costos

Todos los costos descritos se encuentran bajo las condiciones de mercado local por tonelada de materia prima de la especie en estudio.

Tabla XXVI. Descripción de costos fijos

Costos fijos C.F.T		
No.	Costos	Moneda nacional
1	Alquiler o sitio de venta/mes	Q1,500.00
2	Salarios de empleado/mes	Q2,000.00
3	Servicios/mes	Q500.00
4	Depreciación de maquinaria/mes	Q5,000.00
5	Mantenimiento/mes	Q3,000.00
	TOTAL	Q12,000.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. Descripción de costos variables

Costos variables C.V.U		
Unidad	Costos	Moneda nacional
1	Tonelada de chip de eucalipto/mes	Q164.56
2	Transporte de materia prima/mes	Q200.00
3	700kg almidón de yuca en harina	Q1,625.00
	TOTAL	Q1,989.56

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. Resumen de valores para el punto de equilibrio

Costo por briqueta	Briquetas por Tn	Costo de Briquetas totales	Mano de obra
Q1.00	7,142.86	Q7,142.86	Q5,153.3

Precio de venta unitario P.V	Costo variable unitario C.V.U
Q7,142.86	Q1,989.56

Punto de equilibrio P.E
2.33

Punto de equilibrio para valores monetarios P.E
Q16,632.90

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados del poder calorífico de la especie de *Eucalyptus grandis* en briquetas

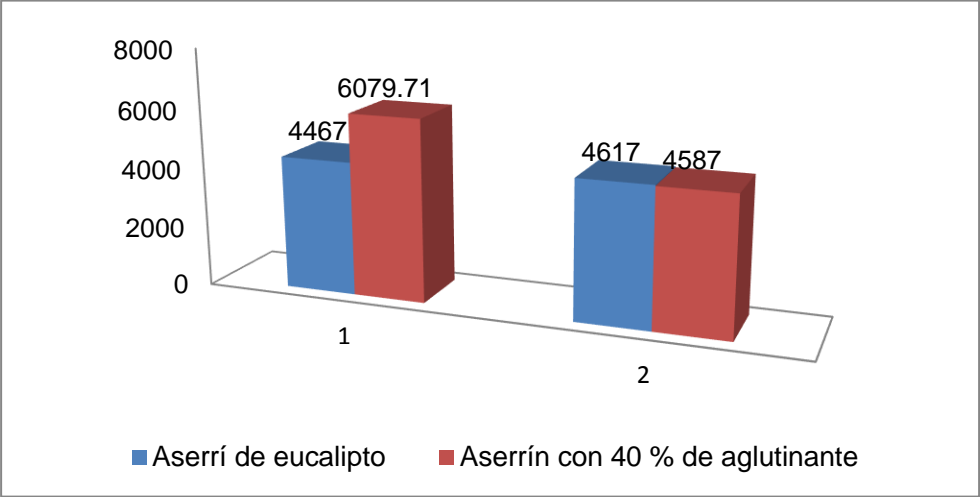
Datos obtenidos por medio de pruebas en el Laboratorio de Hidrocarburos en MEM. Los informes de resultados oficiales se encuentran en anexos.

Tabla XXIX. Resultado del MEM para muestras de eucalipto

Muestra	Descripción	Poder calorífico Kcal/kg	Poder calorífico teórico Kcal/kg	Equivalente en MJ/kg	Humedad %
Muestra 1	<i>Eucalyptus grandis</i> . Aserrín de Madera	4,617.00	4,467.00	19.33	5.60
Muestra 2	<i>Eucalyptus grandis</i> . Aserrín de Madera y 40% Aglutinante. Tres Procesos de moliendas	4,587.00	6,079.71	19.21	2.80

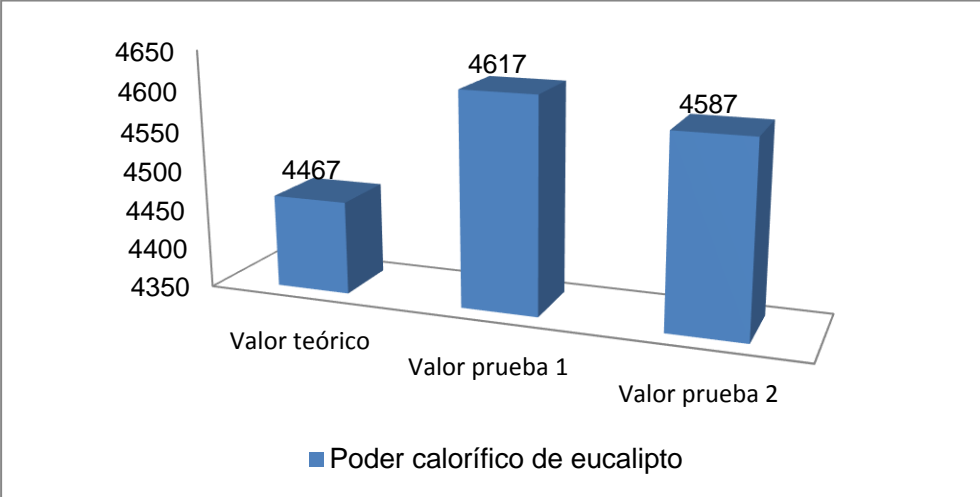
Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Comparación entre valores de poder calorífico de la muestra de madera de eucalipto con valores teóricos de referencia**



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Comportamiento del poder calorífico entre muestras de aserrín de eucalipto y aserrín con aglutinante**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Resultados de cantidad de ceniza por muestra de eucalipto**

Prueba	Cantidad de ceniza % masa
<i>Eucalyptus grandis</i> aserrín de madera	0.900
<i>Eucalyptus grandis</i> aserrín de madera y Aglutinante. tres procesos de moliendas	0.620

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Resumen de valores iniciales de briquetas**

-	Promedio peso en kg	Promedio Kcal/kg	Promedio MJ/kg	% HR
Promedio	0.14	619.17	2.74	23.33
Desviación estándar de la muestra	0.02	95.03	0.40	7.95
Valor mínimo	0.11	513.74	2.16	13.4
Valor máximo	0.20	911.90	3.84	42.5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. Poder calorífico y humedad por briqueta con 15 días período de secado

Briqueta	Peso onz	Peso kg	Kcal/kg	MJ/kg	% HR
1	7.0	0.20	909.97	3.83	12.71
2	6.4	0.18	831.97	3.51	13.7
3	4.5	0.13	584.98	2.47	12.91
4	6.0	0.17	779.97	3.29	13.3
5	4.5	0.13	584.98	2.47	13.7
6	4.5	0.13	584.98	2.47	11.3
7	4.6	0.13	597.98	2.52	13.0
8	4.5	0.13	584.98	2.47	12.5
9	4.5	0.13	584.98	2.47	13.3
10	4.0	0.11	519.98	2.19	12.3
11	4.6	0.13	597.98	2.52	12.9
12	5.5	0.16	714.98	3.01	12.4
13	4.5	0.13	584.98	2.47	12.8
14	5.0	0.14	649.98	2.74	12.5
15	4.5	0.13	584.98	2.47	11.5
16	5.0	0.14	649.98	2.74	13.5
17	5.0	0.14	649.98	2.74	11.7
18	4.5	0.13	584.98	2.47	13.04
19	5.0	0.14	649.98	2.74	13.4
20	4.0	0.11	519.98	2.19	12.71

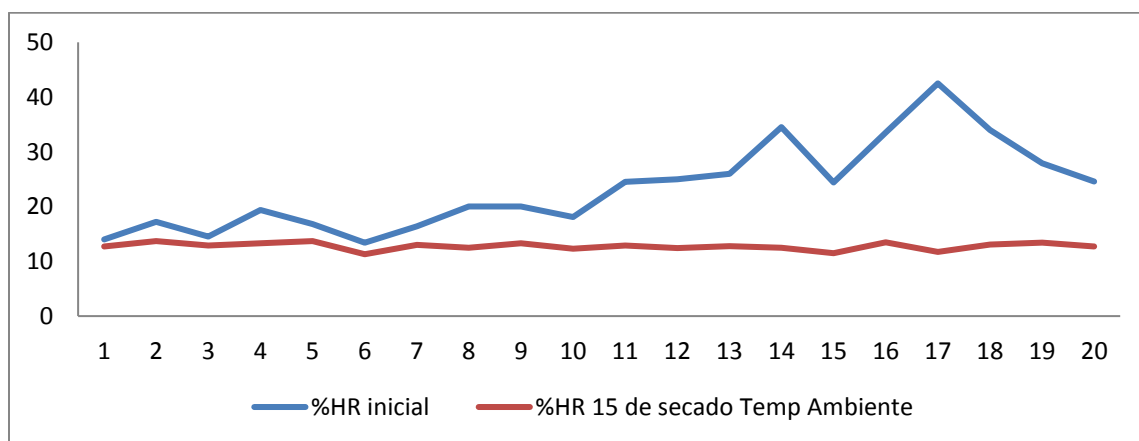
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. Resumen de valores con 15 días periodo de secado para briquetas

	Promedio Peso en Kg	Promedio Kcal/kg	Promedio MJ/kg	% HR
Promedio	0.14	637.63	2.69	12.75
Desviación Estándar Muestra	0.02	97.72	0.40	0.68
Valor mínimo	0.11	519.98	2.19	11.30
Valor máximo	0.20	909.97	3.83	13.70

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Comparación entre valores de porcentaje de humedad para briquetas



Fuente: elaboración propia.

4.2. Resultados de eficiencia de briquetas de la especie

Datos obtenidos por medio de pruebas en Laboratorio de Tecnología de la Madera en USAC durante los días trabajados.

Tabla XXXIV. Resultados de Índice de friabilidad por briketa

Briquetas	Número de briquetas al inicio NI	Número de briquetas al final de la prueba NF	Índice de friabilidad IF=NF/NI
1	1	2	2
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. Resultados de índice de friabilidad total

Pruebas	Totales
Pq = Pruebas Ilesas	9
Pt = Pruebas totales	10

Índice de friabilidad I= Pq/Pt
0.9

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Tiempos de eficiencia para hervir 5 litros de agua, según protocolo WBT**

No. de prueba	Tiempo de eficiencia briquetas de eucalipto 1.8 kg	Tiempo de eficiencia leña común. 2.63 kg
1	1 hora y 40 minutos	1 hora y 31 minutos

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Comparación de eficiencia producida por combustión en Joules por prueba WBT**

Muestra	Leña inicial kg	Ceniza final kg	Diferencia gramos D	Poder calorífico	Formula FAO para eficiencia	Eficiencia Joules
Leña	2.63 kg	0.25 kg	2.38 kg	3600 kcal/kg - 15.06 MJ/kg	Eficiencia = D*Poder Cal.	35.84 J
Eucalipto	1.80 kg	0.34 kg	1.46 kg	4617 kcal/kg - 19.3 MJ/kg	Eficiencia = D*Poder Cal.	28.17 J

Fuente: elaboración propia.

4.3. Resultados del análisis financiero

Los resultados del análisis financiero se comprueban por medio de una tabla resumen de costos, considerando un balance de operaciones tomando en cuenta al valor de punto de equilibrio como factor determinante en el valor de ventas y el costo variable total. El resultado de utilidad operacional es el punto de inicio, a partir de este inicial con la generación de utilidades.

Tabla XXXVIII. **Comprobación de costos para el punto de equilibrio**

No.	Descripción	Costos
1	Ventas	Q16,632.90
2	Costo variable total	Q4,632.90
3	Margen de contribución total	Q12,000.00
4	Costos fijos totales	Q12,000.00
5	Utilidad operacional	0.00

Fuente: elaboración propia.

La gráfica de punto de equilibrio para la comprobación de la herramienta, considera una tabla de estados por unidades de eucalipto trabajadas para la obtención de utilidades, de tal forma que se obtiene utilidades cuando la diferencia entre las ventas y los costos genera utilidades positivas y mayores en incremento al de la inversión inicial.

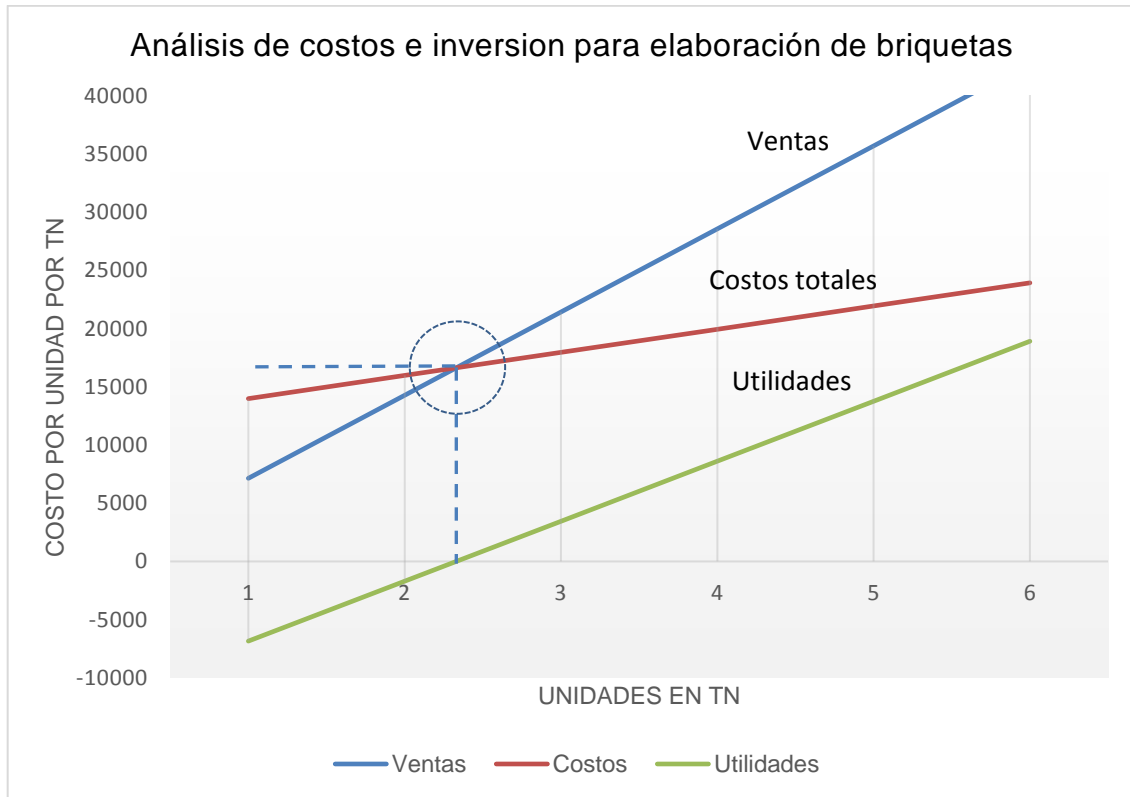
Tabla XXXIX. **Datos para producción de briquetas por tonelada**

Unidades Tn	Ventas	Costos	Utilidades
1	Q7,142.86	Q13,989.56	Q-6,846.70
2	Q14,285.72	Q15,979.12	Q-1,693.40
3	Q21,428.58	Q17,968.68	Q3,459.90
4	Q28,571.44	Q19,958.24	Q8,613.20
5	Q35,714.30	Q21,947.80	Q13,766.50
6	Q42,857.16	Q23,937.36	Q18,919.80
7	Q50,000.02	Q25,926.92	Q24,073.11
8	Q57,142.88	Q27,916.48	Q29,226.40
9	Q64,285.74	Q29,906.04	Q34,379.70
10	Q71,428.60	Q31,895.60	Q39,533.00

Fuente: elaboración propia.

La gráfica demuestra que existe un punto en donde las rectas de las ventas y los costos totales son iguales, a partir las 2.33 unidades, lo que inicia con la generación de utilidades positivas, a partir del dato de punto de equilibrio.

Figura 26. Gráfica de punto de equilibrio



Fuente: elaboración propia.

5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Poder calorífico práctico y teórico

Los resultados que se obtuvieron en el laboratorio constatan en igualdad a los valores de poder calorífico de las maderas duras. Esto en consideración que, las maderas duras toman más tiempo de crecimiento y por lo tanto, son más valiosas económicamente. El eucalipto al ser una especie de crecimiento rápido posee similitudes cercanas a poderes caloríficos de maderas duras, por lo que es efectivamente una madera eficiente, en términos de 6 años, los árboles de eucalipto están listos para cortar e incinerar, mientras que árboles como encino, roble y olivo alcanzan una madurez alrededor de 20 años de vida.

5.2. Poder calorífico de mezcla con aglutinante de almidón de yuca

La mezcla de aglutinante con aserrín de madera de eucalipto, es menor al valor de la prueba inicial que contenía únicamente aserrín de eucalipto. La diferencia entre ellos es menor a 1 % por lo que conserva en un 99 % el potencial energético inicial. El aglutinante mejora en la unión de las partículas de aserrín para conservar la forma de la briqueta. Proporcionalmente, el 40 % de aglutinante agregado a la mezcla mejora su tiempo de secado en un tiempo de 10 días con rango de temperatura 23°C a 26°C o temperatura ambiente.

5.3. Humedad de briquetas

La humedad de las briquetas debe de estar por debajo del 10 % de humedad para que la efectividad dentro de la estufa eficiente sea la más óptima.

Se realizaron 20 briquetas con las cuales se obtuvo un total de 5 kg para la realización de la prueba. El tiempo de secado propicio a temperatura ambiente fue de 15 días.

La realización de una homogenización de humedad, a través de un horno industrial para madera a 90°C, el cual llevo a todas las briquetas a un rango menor 10 %. Mientras más seca se encontró la base la madera en forma de briqueta, más rápido se llevó a cabo la combustión, produciendo humo de color blanco.

5.4. Cantidad de ceniza en mezcla de briquetas y friabilidad

Representado de forma energética, las briquetas no producen una cantidad excesiva de ceniza, en cambio reducen la cantidad de la misma en menos del 1 % por libra de mezcla o el equivalente a 0.45 kg.

El índice de friabilidad se encuentra en 90 % para una muestra de 10 unidades, la representación del índice de friabilidad demuestra que la permanencia de la mezcla seca permanece y mantiene su forma, lo que es ideal para los procesos de quemado como combustible, y demuestra su facilidad de manejo y transporte, así como su almacenaje. Existe un 10 % sobre el índice de friabilidad que corresponde a la poca unidad de las partículas de aserrín a aglutinante en la compactación al aumentar el tamaño de la briqueta, por lo que no mantiene su forma inicial.

5.5. Eficiencia energética

Se determinó que hay un 31% de ahorro de leña haciendo uso de briquetas de eucalipto en referencia a una estufa ahorradora tipo Aler 2, son necesarios 10 minutos más para lograr alcanzar el punto de ebullición con un ahorro de leña de 0.83 kg.

Para la prueba de WBT inicial fue necesario el uso de 1.80 kg de briquetas (14 briquetas) de un total de 3.29 kg, por lo que se hizo uso de 54 % de peso en briquetas para hervir 5 litros de agua.

Para la prueba de WBT comparativa fue necesario el uso de 2.63 kg de leña común de madera de encino de un total de 4.04 kg en leños de 40 cm de largo y 3x4 cm base. Por lo que se hizo uso de 65 % de leña para hervir 5 litros de agua.

Las briquetas son técnicamente viables y funcionales en el ahorro directo de leña de encino, invirtiendo 10 minutos más en el proceso del protocolo WBT y aprovecha en su totalidad la madera contenida en la briqueta.

Para la prueba inicial del protocolo WBT haciendo uso de briquetas se obtuvo 18 % de cantidad de ceniza sobre la cantidad utilizada de 1,8 kg de briquetas en el proceso. Se obtuvo un 82 % de utilización de briquetas para la producción de energía

En la prueba comparativa del protocolo WBT haciendo uso de leña común de encino se obtuvo 9.5 % de ceniza sobre la cantidad utilizada de 2.63 kg de leña. Se obtuvo un 90.5 % de utilización de la leña para la producción de energía.

Es necesaria más cantidad de leña para la producción de energía, mientras que haciendo uso de briquetas es necesaria una cantidad menor de las mismas para la producción de energía.

Con la leña de encino se produce 35.84 Joules o 21% más de energía con 10 minutos menos de proceso, en comparación con el uso de briquetas, pero se hace uso de más recurso de leña para su producción.

Con las briquetas se produce 28.17 Joules o 78 % de energía producida con leña, son necesarios 10 minutos más para el proceso que haciendo uso de leña común de encino; sin embargo, se hace uso de menos recurso de briquetas para la producción de tal energía.

5.6. Análisis financiero

Tomando en cuenta el valor obtenido por el punto de equilibrio y los valores de costos fijos y variables, a partir de las 2.33 toneladas trabajadas con la materia prima de eucalipto se puede generar utilidades. Cada uno de los costos considera la mano de obra que necesita la elaboración de cada una de las briquetas. El transporte de la materia prima, así como el aglutinante de almidón de yuca.

La facilidad de adquisición de los productos como la yuca es un aliciente a la inversión de un proyecto considerando costos, ya que se produce de forma local en el municipio y además puede otorgar fuentes de empleo.

Los costos considerados, desde la tonelada de eucalipto están bajo los precios internacionales y el aglutinante de almidón de yuca, el cual está bajo los precios regulados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería MAGA.

Para cada tonelada trabajada, se debe tomar en cuenta el tiempo de crecimiento de los eucaliptos, la cual tiene un crecimiento rápido y un tiempo de eficiencia óptimo que es de cinco a seis años, junto con la etapa de corte.

En su comparación directa con la adquisición regular de leña, su costo resulta más accesible si se toma en cuenta el precio de costo por leño de Q5.00 a Q1.00 aproximado que cuesta una briqueta. Las variaciones en el precio de la briqueta dependen del costo internacional de la tonelada de eucalipto que está a \$22.00, así como de los precios del aglutinante y su regularización de precios.

Se tiene ventajas al considera almidón de yuca local, ya que Guatemala no exporta a países cercanos el producto de yuca y su exportación a países europeos resulta en demasía costoso. Por lo que, en apertura de mercado, las briquetas se pueden comercializar a otros países incluyendo materia prima local como lo es la especie de eucalipto y el almidón de yuca.

Se obtienen 7,143 briquetas de 1 tonelada de eucalipto con un peso de 0.14 kg cada briqueta incluyendo aglutinante de almidón de yuca.

Para una hectárea que posee alrededor de 1,000 árboles de eucalipto, se tiene un total de 110 toneladas de eucalipto y por lo tanto, un total de 785,730 briquetas por hectárea.

Para el municipio de Palencia que posee extensiones más de 1200 hectáreas de bosques sin explotar, es una oportunidad para la explotación de las áreas boscosas y ayudar, así a la generación de empleo con el aprovechamiento de la materia prima obteniendo ganancias.

CONCLUSIONES

1. La fabricación de briquetas aprovecha en su totalidad la biomasa proveniente de los árboles de eucalipto, requiere de tecnología para su elaboración y hace uso de componentes extras como almidón de yuca, la cual es cultivada comúnmente en el municipio de Palencia.
2. El poder calorífico de las briquetas con una proporción de 60 % de aserrín de la especie y 40 % de aglutinante líquido de almidón de yuca, es mayor que el de la leña común en un 7 % por encima del valor nominal teórico del poder calorífico de la leña, por lo que las briquetas poseen mayor poder calorífico por unidad de volumen en relación a la leña de encino.
3. Las briquetas de biomasa de eucalipto son más eficientes energéticamente que el uso de leña común con secado natural, ya que en la producción de energía se hace uso de menos cantidad de materia compactada, por lo que en estufas ahorradoras es factible el ahorro de leña en un 31 % en tiempos similares.
4. Se puede obtener utilidades a partir las primeras dos toneladas de materia prima de la especie en estudio tomando en cuenta todos los costos relacionados con su producción, transporte y mano de obra, entre otros. Es demostrable que su precio es accesible para su consumo local en consideración de mercados internacionales de exportación.

RECOMENDACIONES

1. Hacer uso de briquetas de biomasa de eucalipto para cocción de alimentos en ambientes cerrados y con estufas ahorradoras, para mejorar el control sobre el uso de leña.
2. Hacer uso de la proporción de molienda, aglutinante y tamaño de partícula por tamizado, para obtener briquetas como una aplicación industrial de combustible en calderas de generación en ingenios por su rápida activación y permanencia de calor.
3. La venta de briquetas a países cercanos por su facilidad de almacenamiento y durabilidad de la materia, aprovechando así toda la materia prima disponible en la región de las planicies en el municipio de Palencia.
4. Promover los proyectos de bosques energéticos de eucalipto en el municipio de Palencia, en el departamento de Guatemala, por sus extensiones de bosques sin explotación, además por su tipo de suelo y óptimas condiciones climáticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abauta (2012). *Síntesis y cálculos sobre contenido energético, equivalencias energéticas y precios de los combustibles de biomasa en Guatemala, como elemento de decisión para su uso en proyectos energéticos*, Guatemala, pág. 24, 25.
2. Agostinho-Da Silva (2013). *Ecuaciones para estimar el poder calorífico de la madera de cuatro especies de árboles*, Grande Do Sul, Brasil.
3. Da Silva Arce (2013). *Proyecto de creación de una fábrica de briquetas de aserrín en Santa Rosal del Aguaray*, Santa Rosa del Aguaray – Paraguay.
4. Daetz Escalante (2015). Tesis de grado: *Evaluación del crecimiento de plantaciones de eucalipto en Lanquín, Alta Verapaz*, Alta Verapaz, Guatemala.
5. Fonseca Cuenca (2011). *Desarrollo de un proceso tecnológico para la obtención de briquetas de aserrín de madera y cascarilla de arroz, y pruebas de producción de gas pobre*, Riobamba, Ecuador.
6. Juárez (2008). *Comparación del rendimiento del aceite esencial de dos especies de eucalipto (*Eucalyptus Citriodora* Hook Y *Eucalyptus Camaldulensis* Dehnh)*, Aplicando el método de hidrodestilación a nivel laboratorio, Guatemala Centro América.

7. López (2010). *Trabajo de graduación realizado en la empresa "Pilonos de Antigua S.A", Antigua Guatemala con énfasis a: Evaluación de Concentraciones de Auxinas para la Propagación Vegetativa Comercial de 4 Especies Forestales: Melina (gmelina arbórea), Eucalipto (eucaliptus urograndis), Pino (pinus patula) y pinabete (abies guatemalensis).* Guatemala Centro América.
8. López (2004). *Producción de materiales de construcción y energía a partir de desechos orgánicos: El bloque sólido combustible*, Cuba, pág. 6, 7.
9. Lozano (2009). *Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña, España*, pág. 94, 95. Barrera.
10. Maldonado (2015). *Determinación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, desechos sólidos, vacasa, tetrabrik, utilizando almidón y cal como aglutinantes*, Guatemala, Centro América.
11. Míguez (2013). *La eficiencia energética en el uso de la biomasa para la generación de energía eléctrica: Optimización energética y exegética*, España, pág. 139, 140.
12. Montepeque Sierra (2007). *Trabajo de graduación: Estimación de biomasa y contenido de carbono en plantaciones de Eucalyptus camaldulensis Dehnh y actividades de conservación de los recursos naturales, en la empresa Pantaleón, S.A Siquinalá, Escuintla, Guatemala.*

13. Muralles (2005). *Estudio de factibilidad para producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de eucalipto*, Guatemala Centro América.
14. Nájera (1999) *Ecuaciones para estimar biomasa, volumen y crecimiento en biomasa y captura de carbono en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México*, pág.10, 11.
15. Ortiz (2006). *Experiencias en la construcción de estufas economizadoras de leña en el área rural del país*, Guatemala, Centro América.
16. Regil Wald (2010). *Estudio de factibilidad para producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de eucalipto*, Guatemala, Centro América.
17. Santos Bravo (2011). *Bioprospección de Phytophthora sp. Asociado a especies forestales de importancia económica en fase vivero en la región centro de Guatemala, C. A*, Guatemala, Centro América.
18. Segeplan (2010). *Plan de desarrollo Palencia Guatemala 2011-2025*. Consejo Municipal de Desarrollo. Palencia Guatemala. Centro América.
19. Tobías Hernández (2016). *Sistema de costos estándar para la generación de energía térmica y eléctrica con bagazo de caña en un Ingenio Azucarero*, Guatemala Centro América.
20. Velásquez (2009). *Propuesta para el manejo de los desechos sólidos residenciales generados en el área urbana del Municipio de San*

*Pedro Sacatepéquez, Departamento de San Marcos, Guatemala
Centro América*

21. Patricia Torres (2010) *Una mirada a la agroindustria de extracción de almidón de yuca, desde la estandarización de procesos*. Medellín Colombia. Diciembre de 2010.

22. Elías Ogaldez (2008) *Manejo Integrado de Microcuencas hidrográficas del municipio de Palencia, Departamento de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, Guatemala.

ANEXOS

Figura 27. Informe de resultados del MEM para muestra de aserrín de eucalipto

 GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS	LABORATORIOS TÉCNICOS	PÁGINA 1 DE (1) LAB-REP-1263-17 ORDEN No. L-0548-17 GUATEMALA, 04-09-17	
RESULTADOS DE ANÁLISIS			
MUESTRA: Eucalipto PRESENTADA POR: Kevin Roberto Hernández RESPONSABLE DEL MUESTREO: Kevin Roberto Hernández PROCEDENCIA: Kevin Roberto Hernández. Referencia de la muestra: Prueba No. 1 LOCALIZACIÓN: Guatemala, Guatemala FECHA DE MUESTREO: 24-08-17 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 24-08-17 FECHA DE ANÁLISIS: del 31-08-17 al 04-09-17 PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 44.00 ANALISTA: Jhonatan Ríos			
DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADOS (b)
PODER CALORIFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 19.33
HUMEDAD, % masa	Gravimétrico	-----	5.60
CENZA, % masa	ASTM D-482	-----	0.900
OBSERVACIONES: <p style="font-size: small;"> a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto. b) Los resultados son válidos solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio. c) El valor de 19.33 MJ/Kg es equivalente a 4617 Kcal/Kg y a 8310 Btu/Lb. La prueba se realizó en base seca. </p>			
 Ing. Julio Villacinda ÁREA DE HIDROCARBUROS		 Vo. Bo. Inga. Májra Villatoro COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS	
			
Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464			
<small>El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico</small>			
 @MEMguatemala  /MEMguatemala		www.mem.gob.gt	

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

Figura 28. Informe de resultados del MEM para muestra de aserrín de eucalipto

 <p>GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS</p>		<p>LABORATORIOS TÉCNICOS</p>		<p>PÁGINA 1 DE (1) LAB-REP-1281-17 ORDEN No. L-0562-17 GUATEMALA, 06-09-17</p>	
RESULTADOS DE ANÁLISIS					
<p>MUESTRA: Eucalipto PRESENTADA POR: Kevin Roberto Hernández RESPONSABLE DEL MUESTREO: Kevin Roberto Hernández PROCEDENCIA: Kevin Roberto Hernández. Referencia de la muestra: Prueba No. 2 LOCALIZACIÓN: Guatemala, Guatemala FECHA DE MUESTREO: 01-09-17 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 01-09-17 FECHA DE ANÁLISIS: del 04 al 06-09-17 PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 44.00 ANALISTA: Jhonatan Ríos</p>					
DESCRIPCIÓN		MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADOS (b)	
PODER CALORIFICO SUPERIOR, MJ/Kg		ASTM D-240	-----	(c) 19.21	
CENIZA, % masa		ASTM D-482	-----	0.620	
<p>OBSERVACIONES:</p> <p>a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto. b) Los resultados son válidos solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio. c) El valor de 19.21 MJ/Kg es equivalente a 4587 Kcal/Kg y a 8257 Btu/Lb.</p>					
		 Ing. Julio Villacinda ÁREA DE HIDROCARBUROS			
		 Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS			
<p>Jvg Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464</p> <p style="text-align: center; font-size: small;">El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico</p>					
 @MEMguatemala  /MEMguatemala		www.mem.gob.gt			

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

Figura 29. **Campana de emisiones en Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII USAC**



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Figura 30. **Peso exacto de briqueta seca en kilogramos**



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Figura 31. **Olla de laboratorio con agua 5 kg y tara 0.37 kg**



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Figura 32. **Prueba WBT en frío con briquetas y dos ollas con agua**



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Figura 33. **Prueba WBT en frío con leña de encino y ollas con agua**



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Figura 34. **Temperatura del agua al inicio de la prueba WBT**



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Figura 35. **Temperatura del agua al finalizar la prueba WBT**



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Figura 36. **Molino de muelas**



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Figura 37. **Aserrín (% obtenido en tamizado)**



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Figura 38. **Tamizadora motorizada Humboldt ASTM E11 7 tamices**



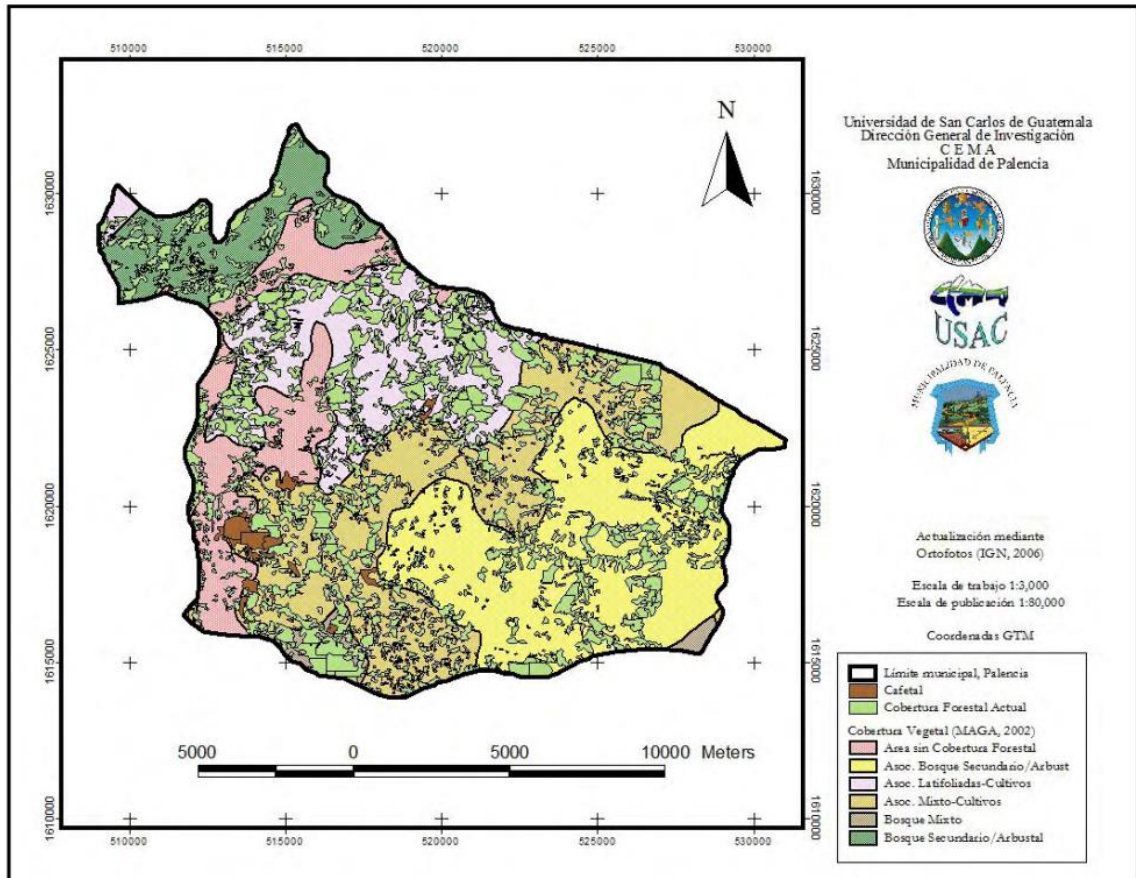
Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Figura 39. **Muestra de eucalipto en tamizadora**



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera en CII-USAC.

Figura 40. Mapa de cobertura forestal del municipio de Palencia



Fuente: Ing. Agr. Gustavo Adolfo Elías Ogaldez USAC (2008).

Figura 41. **Visita a la Municipalidad de Palencia**



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Vivero de reforestación en el Municipio de Palencia**



Fuente: elaboración propia.