



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



División de Estudios de Posgrado de la Facultad de
Ingeniería en Tecnología de la Madera
Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera

TÍTULO

**“APROVECHAMIENTO DEL ASERRÍN Y VIRUTA DE PINO (*Pinus spp*) PARA LA
PRODUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE BRIQUETAS, COMO ENERGÍA ALTERNA EN
LA COMUNIDAD DE SAN FRANCISCO PICHÁTARO, MICHOACÁN”**

T É S I S

Para obtener el grado de
Maestro en Ciencias y Tecnología de la Madera

P R E S E N T A

MARIO MORALES MÁXIMO

DIRECTOR DE TESIS

DR. JOSÉ GUADALUPE RUTIAGA QUIÑONES

CO-ASESOR EXTERNO

DR. VÍCTOR MANUEL RUÍZ GARCÍA
(UNAM/MORELIA)

Morelia, Michoacán Febrero de 2019

AGRADECIMIENTOS

Institucionales

El presente trabajo de investigación se realizó en el marco del proyecto SENER-CONACYT-2014-246911 "Clúster de Biocombustibles Sólidos para la Generación Térmica y Eléctrica". Se agradece el apoyo en la parte experimental a la Comunidad de San Francisco Pichátaro, Michoacán, México; así como al personal del Laboratorio de Bioenergía y de la Unidad de Ecotecnologías, (UNAM), Campus Morelia, especialmente a los técnicos académicos M. en C. René D. Martínez Bravo y M. I. Alfredo F. Fuentes Gutiérrez por el soporte técnico para el desarrollo de la experimentación, insumo necesario para llevar a cabo esta tesis. y también a la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. A todos ellos muchas gracias por su apoyo otorgado para la culminación de este trabajo.

A MI DIRECTOR DE TESIS

Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones: Recuerdo que el primer día que entre a esta universidad, me lleve una gran impresión de usted y sin conocerme me brindó su apoyo y confianza para lograr este segundo objetivo en mi vida. Gracias por tenerme paciencia, confianza, brindarme su apoyo, creer en mi para la realización de esta investigación, en este tiempo que trabajamos juntos fue muy agradable, aprendí muchas cosas que me formaron un mejor estudiante, este logro también es de usted Profe.

Dr. Víctor Manuel Ruíz García: Gracias profe, por su apoyo, revisión y co-asesoría de este trabajo fue muy agradable trabajar con usted y su equipo en estos meses muchas gracias por el apoyo.

A MIS LECTORES

Dr. Pablo López Albarrán
Dr. Rafael Herrera Bucio
Dr. Francisco Javier Castro Sánchez
M. en C. Roberto Calderón Muñoz

Por sus excelentes observaciones y comentarios que hicieron que se fortaleciera esta investigación muchas gracias profesores.

A la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera

Gracias por abrirme sus puertas para seguir formándome como profesionista y seguir cumpliendo mis metas MUCHAS GRACIAS...

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

Martha Máximo Melgoza y Mario Morales Sánchez, por su presencia, cariño, amor, y tenerme paciencia hasta este momento de mi vida, este logro es también de ustedes.

A MIS HERMANOS:

Neri. Por su paciencia, comprensión y apoyo.

Manuel (yiyo) y a Mariana (mai), desde hace 11 años que llegaron a mi vida se han convertido más que unos hermanos, son la razón para seguir a delante en la vida.

A MIS ABUELOS:

Gloria Sánchez (mamá lola), gracias por tu amor más que una abuela. David Morales Pascual (papá davi), donde quiera que te encuentres, me hubiera gustado que hubieras estado aquí, en este momento, te hice una promesa y vamos por buen camino gracias; porque sé que aún no te has ido de mi lado, y que en el más allá estas abogando por mí para que las cosas mejoren y me vaya bien en la vida esto es por ti GRACIAS....

A LAS UNIVERSIDADES:

ENES/UNAM, Morelia. Agradezco al Dr. Carlos García Bustamante por invitarme a colaborar en diferentes proyectos en estos dos años muchas gracias profe.

DIA/UVAQ, Morelia. Agradezco a la MPA. Andrea Gussi Borunda, por su apoyo, paciencia, confianza y por permitirme ser parte del equipo de trabajo de la Escuela de Diseño de Interiores y Ambientación, por permitirme desarrollarme como profesionista muchas gracias maestra por toda su confianza.

De igual forma agradezco a la Dra. Hermelinda Servín Campuzano y al Dr. Mauricio González Avilés, quienes fueron los primeros en apoyarme y sembrar en mi la idea de ser investigador, muchas gracias profes por sus conocimientos transmitidos y todo el apoyo al inicio de esta aventura.

Así mismo a todos mis amigos, compañeros de escuela y de trabajo que he conocido en el camino y me han motivado a ser una mejor persona y a buscar nuevos retos.

Eduardo González Rodríguez (en las buenas y en las malas) Armando (pacanda), Jesús (fitecma) Ricardo Mussule, Martin Parra, Rafael Barradas, Katerine, David Ramírez, Alexa de la Torre, Bianca Jacinto y muchos, muchos más.

Por último y no menos importante, a una persona que conocí hace muchos años en la licenciatura y tuve la oportunidad de ser su alumno y quien diría que hoy nuestros caminos se cruzarían para ser grandes amigos, muchas gracias a ti; Luis Bernardo López Sosa, por todo tu apoyo, ideas, proyectos que hemos realizado juntos y en otros que me has invitado a colaborar tu trayectoria es un ejemplo para mí de motivación para seguir en este camino muchas gracias amigo por todo tu apoyo en estos dos años este logro en parte es tuyo.

CONTENIDO

Índice de tablas	I
Índice de figuras	II
Índice de gráficas.....	IV
Índice de anexos	IV
Resumen	V
Abstract.....	V

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Introducción.....	1
1.1. Justificación	3
1.2. Objetivo general	5
1.2.1. Objetivos específicos.....	5
1.3. Hipótesis	5

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1. El bosque y los recursos naturales de la comunidad de San Francisco Pichátaro	6
2.2. Las fuentes de energía renovables	8
2.3. La bioenergía y su importancia	12
2.4. Biomasa	15
2.5. Los biocombustibles sólidos.....	18
2.6. Tipos de materia prima para la producción de biocombustibles sólidos.....	19
2.6.1. Astillas	20
2.6.2. Aserrín.....	21
2.6.3. Viruta.....	21
2.7. Tipos de biocombustibles sólidos procesados	22
2.7.1. Péllets.....	22
2.7.2. Carbón vegetal	24
2.7.3. Briquetas	24
2.8. Procesos de producción de las briquetas	25
2.9. Propiedades físicas, químicas y energéticas de las briquetas	27

CAPÍTULO 3 ANTECEDENTES

3.1. Desarrollo de las briquetas a base de residuos maderable.....	30
--	----

3.2. Importancia de la biomasa como alternativa energética en el contexto de la sustentabilidad	35
3.3. Importancia de las briquetas a nivel mundial y nacional.....	36
3.4. Panorama internacional de la sustentabilidad sobre la biomasa y las briquetas.....	38

CAPÍTULO MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Trabajo de campo	41
4.1.1. Identificación geográfica y territorial, determinación de la muestra.	41
4.1.2. El diagnóstico de consumo maderable y residuo maderable disponible.....	42
4.1.3. Recolección de muestras para realizar las pruebas de laboratorio	44
4.2. Diseño y construcción de una máquina para producir briquetas	47
4.2.1. Descripción de los elementos realizados en el diseño	48
4.3. Trabajo de laboratorio para caracterización de las briquetas	53
4.3.1. El contenido de humedad	54
4.3.2. Granulometría.....	55
4.3.3. Determinación del contenido de cenizas del residuo maderable.....	56
4.3.4. Determinación del contenido de materiales volátiles.....	57
4.3.5. Densidad aparente	58
4.3.6. Poder calorífico superior	59
4.4. Pruebas experimentales de las briquetas	60
4.4.1. Densidad de las briquetas	64
4.4.2. Contenido de humedad de las briquetas.....	65
4.4.3. Medición de emisiones de gases de efecto invernadero producido por las briquetas	65
4.4.4. Evaluación termográfica de las briquetas realizadas	68
4.5. Transferencia de la tecnología	69
4.6. Evaluación de las briquetas producidas y utilizadas en dispositivos de uso final.....	70

CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis de resultados cualitativos del diagnóstico del residuo maderable	73
5.1.1. Determinación de la humedad del residuo maderable	76
5.1.2. Determinación de la granulometría	78
5.1.3. Contenido de cenizas de las muestras analizadas	82
5.1.4. Contenido de materiales volátiles de las muestras maderables	83
5.1.5. Densidad aparente de las muestras maderables	84

5.1.6. Poder calorífico de las muestras maderables	85
5.2. Pruebas experimentales de las briquetas	86
5.2.1. Densidad de las briquetas	91
5.2.2. Contenido de humedad de las briquetas.....	93
5.2.3. Medición de gases de efecto invernadero obtenidos de las briquetas.....	94
5.2.4. Evaluación termográfica de las briquetas realizadas.....	98
5.2.5. Diagnóstico comunitario para la identificación del combustible más utilizado en la misma.....	104
5.2.6. Determinación económica para la fabricación de briquetas	108
5.2.7. Cocción de tortillas en un dispositivo de uso final (patsari) final.....	109

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.....	112
Recomendaciones	114
Bibliografía.....	116

ANEXOS

Anexo A.....	123
Anexo B.....	125
Anexo C.....	127
Anexo D.....	128
Anexo E.....	129
Anexo F.....	133
Anexo G.....	134

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

Tabla 2.1. Clasificación de los Bioenergéticos con base en sus diferentes generaciones tecnológicas.....	14
Tabla 2.2. Tipos de materia prima Forestal para la producción de Biocombustibles Sólidos.....	19
Tabla 2.3. Clasificación de las astillas.....	20
Tabla 2.4. Biocombustibles sólidos derivados de la biomasa forestal.....	22
Tabla 2.5. Características principales de las diferentes maquinas briquetadoras.....	27

CAPÍTULO 3 ANTECEDENTES

Tabla 3.1. Mezcla para la realización de briquetas.....	31
Tabla 3.2. Datos obtenidos de las briquetas elaboradas manualmente.....	32
Tabla 3.3 Datos obtenidos de las diferentes briquetas realizadas en España.....	33
Tabla 3.4. Características principales de las briquetas.....	34
Tabla 3.5. Valores obtenidos de las briquetas realizadas en San Juan Nuevo.....	35

CAPÍTULO 4 MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 4.1. Recolección de las muestras para su caracterización en gramos.....	45
Tabla 4.2. Separación de la primera muestra a una segunda muestra para su respectiva caracterización en laboratorio.....	46
Tabla 4.3. Listado de las piezas diseñadas.....	48
Tabla 4.4. Número de malla establecido para la prueba.....	55

CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 5.1. Destino del residuo maderable.....	75
Tabla 5.2. Determinación del contenido de humedad de las muestras de viruta.....	77
Tabla 5.3. Determinación del contenido de humedad de las muestras de aserrín.....	77
Tabla 5.4. Resultados de la granulometría derivada de la muestra de viruta.....	78
Tabla 5.5. Resultados de la granulometría derivada de la muestra de aserrín.....	80
Tabla 5.6. Determinación del contenido de cenizas de las muestras de viruta.....	82
Tabla 5.7. Determinación del contenido de cenizas de las muestras de aserrín.....	82
Tabla 5.8. Determinación del contenido de materiales volátiles de las muestras de viruta.....	83
Tabla 5.9. Determinación del contenido de materiales volátiles de las muestras de aserrín.....	83
Tabla 5.10. Determinación de la densidad aparente de las muestras del residuo maderable.....	84
Tabla 5.11. Poder calorífico de las muestras de viruta.....	85
Tabla 5.12. Poder calorífico de las muestras de aserrín.....	85
Tabla 5.13. Características de las briquetas primera prueba.....	86
Tabla 5.14. Especificaciones de las mezclas para realizar las briquetas.....	88
Tabla 5.15. Medidas exactas para fabricar las briquetas.....	89
Tabla 5.16. Residuos en kilogramos generados por día.....	90
Tabla 5.17. Generación de briquetas por costal.....	90
Tabla 5.18. Costo de producción por briqueta.....	90
Tabla 5.19. Costo de producción por briqueta.....	91
Tabla 5.20. Densidad de las briquetas.....	92
Tabla 5.21. Prueba de rangos múltiples.....	92
Tabla 5.22. Humedad final de las briquetas.....	93
Tabla 5.23. Desempeño energético de las briquetas y la leña en una prueba de ebullición de agua.....	94
Tabla 5.24. Factores de emisión por combustible seco consumido.....	95
Tabla 5.25. Factores de emisión por energía entregada por el combustible.....	96
Tabla 5.26. Tasas de emisión.....	97

Tabla 5.27. Factores de emisión por litro de agua ebullición.....	98
Tabla 5.28. Registro de la temperatura del agua con los diferentes combustibles utilizados.....	102
Tabla 5.29. Precio de la briqueta por unidad en comparación con la leña convencional.....	109
Tabla 5.30. Síntesis de los datos obtenidos de la cocción de las tortillas de maíz.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

Figura 2.1. Mapa macro y micro de localización de la comunidad de San Francisco Pichátaro.....	6
Figura 2.2. Censo de la comunidad de Pichátaro.....	6
Figura 2.3. Vista panorámica de la comunidad de Pichátaro.....	7
Figura 2.4. El bosque de la comunidad de Pichátaro.....	8
Figura 2.5. Clasificación de los tipos de energías.....	10
Figura 2.6. Clasificación de los biocombustibles.....	12
Figura 2.7. Biomasa.....	16
Figura 2.8. Diferentes tipos de biomasa residual.....	16
Figura 2.9. Tipos de la energía de la biomasa.....	18
Figura 2.10. Imágenes de astillas.....	20
Figura 2.11. Aserrín acumulado de diferentes procesos en la comunidad de Pichátaro.....	21
Figura 2.12. Desperdicio de viruta residuo producción por el proceso de cepillado y canteado en un taller maderero.....	21
Figura 2.13. Diferentes Biocombustibles sólidos derivados de la biomasa forestal.....	22
Figura 2.14. Pellets y dimensionamiento promedio.....	23
Figura 2.15. Carbón vegetal como biocombustible.....	24
Figura 2.16. Producción y combustión de diferentes briquetas a partir de residuos forestales.....	25
Figura 2.17. Diferentes procesos de para fabricar biocombustibles sólidos.....	26

CAPÍTULO 3 ANTECEDENTES

Figura 3.1. Imagen del tamaño de la briqueta para este proceso.....	32
---	----

CAPÍTULO 4 MATERIALES Y MÉTODOS

Figura 4.1. Esquema metodológico.....	40
Figura 4.2. Medición de humedad.....	43
Figura 4.3. Muestras de madera.....	43
Figura 4.4 y 4.5. Llenado de costales con el residuo maderable para determinar la cantidad.....	44
Figura 4.6 y 4.7. Identificación de los talleres con mayor generación de residuos maderables.....	44
Figura 4.8. Recolección de las muestras de viruta.....	44
Figura 4.9. Recolección de las muestras de aserrín.....	44
Figura 4.10. Determinando el peso de cada residuo maderable aserrín y viruta.....	45
Figura 4.11. Muestras de aserrín y viruta en kilogramos.....	45
Figura 4.12. Muestra 1.....	46
Figura 4.13. Muestra 2.....	46
Figura 4.14.. muestra 3.....	46
Figura 4.15. muestra 4.....	46
Figura 4.16. Muestra 5.....	46
Figura 4.17. Vista de todas las muestras.....	46
Figura 4.18. Ensamblaje completo.....	49
Figura 4.19. Construcción de la base.....	50
Figura 4.20. Construcción de los moldes y añadidos a la base.....	50
Figura 4.21. cortar y escuadrar la placa de acero.....	51
Figura 4.22. Proceso de construcción del eje la parte vital de la máquina briquetadora.....	51

Figura 4.23. Colocación del eje y el gato mecánico.....	52
Figura 4.24. Colocación de la tapa en la base de la máquina para hacer la compresión de las briquetas.....	52
Figura 4.25. Entintado y acabado de la maquina briquetadora.....	52
Figura 4.26. Vista de la máquina briquetadora manual terminada.....	53
Figuras 4.27. A) Muestras a analizar B) Peso de un gramo de la muestra y colarlo en la caja de Petri C) Colocación de las muestras en la estufa de secado hasta peso constante D) Muestras colocadas en el desecador.....	54
Figura 4.28. Tamiz vibrante.....	55
Figura 4.29. Muestras obtenidas de diferentes granos con la ayuda del tamiz vibrante.....	56
Figura 4.30. Medición del peso de cada una de las muestras en una báscula.....	56
Figura 4.31. A) Colocación de las muestras en los crisoles. B) Cremación de las muestras. C) Calcinación de las muestras en la mufla. D) Obtención de las muestras con las cenizas.....	57
Figura 4.32. A) colocación del crisol con la muestra en la mufla B) Crisol con la muestra fuera de la mufla C) Colocación del crisol en el desecador D) Obtención de los materiales volátiles de las 15 muestras.....	58
Figura 4.33. Determinación del peso de la muestra de residuo maderable.....	59
Figura 4.34. Calorímetro	60
Figura 4.35. proceso metodológico para la fabricación de las briquetas.....	61
Figura 4.36. Recolección de la biomasa o materia prima para las briquetas.....	61
Figura 4.37. Mezcla de los materiales agua, aserrín o viruta y fécula de maíz.....	61
Figura 4.38. Introducción de la mezcla a la máquina briquetadora manual.....	62
Figura 4.39. Compresión de la mezcla lo más fuerte posible.....	62
Figura 4.40. Izquierda briquetas salidas del molde, derecha briquetas expuestas al sol para su secado.....	62
Figura 4.41. Imágenes de las diferentes briquetas realizadas con diferentes mezclas.....	63
Figura 4.42. a) Tres cámaras de aislamiento térmico, b) Tres tipos de combustibles diferentes incluyendo las briquetas, c) Tres recipientes con 1 litro de agua cada uno, d) colocación de los diferentes combustibles en cada una de las cámaras térmicas.....	68
Figura 4.43. Combustión de los tres diferentes combustibles a) Briqueta, b) Leña de pino, c) Leña de encino	69
Figura 4.44. Proceso a seguir para la transferencia de la tecnología.....	70
Figura 4.45. Estufa Patsari (Medina, 2017).....	71
Figura 4.46. a) Peso del iniciador, b) Briquetas (combustible), c) Masa para las tortillas, d) utilización de la Patsari y elaboración de las tortillas, e) Briquetas combustionadas en la Patsari, f) Calcinación de las briquetas.....	72

CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 5.1. Combustión a) Briqueta, b) Leña de pino, c) Leña de encino, d) Imagen integradora de los tres combustibles, e) Emisión en forma de cuerpo radiante de los tres combustibles.....	98
Figura 5.2. Combustión a) Briqueta, b) Leña de pino, c) Leña de encino, d) Imagen integradora de los tres combustibles, e) Emisión en forma de cuerpo radiante de los tres combustibles.....	99
Figura 5.3. Combustión a) Briqueta, b) Leña de pino, c) Leña de encino, d) Imagen integradora de los tres combustibles, e) Emisión en forma de cuerpo radiante de los tres combustibles.....	100
Figura 5.4. a) Imagen integradora de los tres combustibles, b) Emisión en forma de cuerpo radiante de los tres combustibles.....	101
Figura 5.5. a) Determinación del peso de la masa de maíz, b) Combustible utilizado para cocción, c) Tortillas calentándose.....	110
Figura 5.6. a) Determinación del peso de la masa de maíz, b) Combustible utilizado para cocción, c) Tortillas calentándose.....	111
Figura 5.7. a) Determinación del peso de la masa de maíz, b) Combustible utilizado para cocción, c) Tortillas calentándose.....	111

ÍNDICE DE GRÁFICAS

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

Gráfica 2.1. Distribución de la demanda mundial de energía, 1990-2010 (IEA, 2012).....	10
Gráfica 2.2. Fuentes de generación de energía eléctrica en México 2014 (Aleman-Nava et al., 2014).....	11
Gráfica 2.3. Producción científica realizada por instituciones mexicanas en el campo de las energías renovables (Pérez-Denicia et al., 2017).....	12

CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Gráfica 5.1. Tipo de madera con mayor frecuencia usada.....	73
Gráfica 5.2. Lugar donde se compra la madera.....	73
Gráfica 5.3. Comparación de la generación en Kilogramos de residuos maderables por semana.....	74
Gráfica 5.4. Residuo maderable más generado en la comunidad.....	74
Gráfica 5.5. Uso que se le da al residuo maderable para alguna determinada actividad.....	75
Gráfica 5.6. Destino final que tiene el residuo maderable.....	76
Gráfica 5.7. Densidad de las muestras de las briquetas a base de aserrín.....	92
Gráfica 5.8. Diferencia de temperatura del agua con los diferentes combustibles en el proceso de combustión.....	103
Gráfica 5.9. Determinación del combustible más utilizado por semana en la comunidad así como la leña por un periodo de tiempo determinado.....	104
Gráfica 5.10. Combustible derivado de la madera más utilizado por vivienda en la comunidad.....	105
Gráfica 5.11. Cantidad de leños utilizados por semana en cada vivienda de la comunidad.....	106
Gráfica 5.12. Forma de obtención de la leña para uso cotidiano en las viviendas de la comunidad.....	106
Gráfica 5.12. Utilización de otro combustible derivado de la leña.....	107
Gráfica 5.13. Comparación de precios de diferentes combustibles.....	109

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A Instrumento de evaluación (diagnóstico comunitario).....	123
ANEXO B Datos sobre la granulometría de las muestras de residuo maderable (aserrín y viruta).....	125
ANEXO C Parámetros utilizados para la cocción de tortillas en un dispositivo de uso final.....	127
ANEXO D Artículos Publicados en Memorias Arbitradas sobre Briquetas.....	128
ANEXO E Reconocimientos durante el posgrado.....	129
ANEXO F Trabajos publicados en colaboración.....	133
ANEXO G Despiece completo del diseño de la máquina briqueteadora manual.....	134

RESUMEN

El presente trabajo es una investigación experimental para aprovechar el residuo maderable forestal que se genera en la comunidad de San Francisco Pichátaro en el estado de Michoacán, México, estos residuos se densificaron para producir biocombustibles sólidos procesados, específicamente briquetas. También se evaluaron las propiedades físicas-energéticas de la biomasa residual maderable y de las briquetas producidas. El uso de este biocombustible procesado está enfocado para satisfacer necesidades de generación de calor de baja potencia en el sector residencial y comercial. Para los análisis en laboratorio se utilizaron dos tipos de residuos (aserrín y viruta), de los cuales se determinaron parámetros de calidad y su viabilidad técnico-económica. Adicionalmente a la fabricación de briquetas, también se evaluaron en dispositivos de uso final midiendo los parámetros de desempeño energético y emisiones (CO, CO₂, Metano y PM_{2.5}). Las evaluaciones contemplan pruebas de ebullición de agua y de cocinado. Se concluye que la briketa como biocombustible sólido es una alternativa para la generación de calor, disminuyendo los impactos al ambiente y con un potencial de generar mercados locales.

Palabras clave: Biomasa, Briketa, Energía, Termografía, Poder calorífico.

ABSTRACT

The present work is an experimental investigation to take advantage of the forest wood waste that is generated in the community of San Francisco Pichátaro in the state of Michoacán, Mexico, this waste was densified to produce processed solid biofuels, specifically briquettes. The physical-energetic properties of the residual wood biomass and the briquettes produced were also evaluated. The use of this processed biofuel is focused on satisfying low power heat generation needs in the residential and commercial sector. For laboratory analyzes, two types of waste (sawdust and shavings) were used, of which quality parameters and their technical-economic viability were determined. In addition to the manufacture of briquettes, they were also evaluated in end-use devices measuring the parameters of energy performance and emissions (CO, CO₂, Methane and PM_{2.5}). The evaluations contemplate water boiling and cooking tests. It is concluded that the briquette as a solid biofuel is an alternative for the generation of heat, diminishing the impacts to the environment and with a potential to generate local markets.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

Es posible que, el momento más decisivo para la humanidad haya sido el descubrimiento del fuego, y gracias a él, comenzó a ser capaz de controlar y modificar muchos procesos que hasta ese momento dependían únicamente de la naturaleza. Desde entonces la energía ha sido un elemento indispensable en la satisfacción de las necesidades cotidianas de todos los ámbitos sociales, desde la cocción de alimentos, hasta la fabricación de los sofisticados aparatos dedicados a las sociedades modernas (Rincón, 2010).

INTRODUCCIÓN

Durante la mayor parte de la historia, la humanidad ha buscado satisfacer sus necesidades de energía a través de recursos renovables, como el viento, el sol, etc. La madera, considerado como fuente de energía renovable bajo el nombre de biomasa, tradicionalmente es el combustible que los seres humanos han utilizado a lo largo de la historia.

La biomasa podría volver a ocupar un lugar importante con la finalidad de mitigar los impactos ambientales generados de las actividades humanas y productivas, que implican el desarrollo de buenas prácticas ambientales, en donde, la implementación o aplicación de tecnologías limpias son fundamentales para garantizar la sustentabilidad del medio ambiente (Mejía, 2011).

En este tiempo de cambios sociales, políticos, económicos y principalmente ambientales, se presenta un gran interés por el uso de energías renovables que contribuyen a mitigar los gases de efecto invernadero e impulsan el desarrollo tecnológico; lo que conlleva al estudio de la bioenergía, se estima que más de 2 millones de personas utilizan derivados de la biomasa para satisfacer diferentes necesidades de energía, principalmente para cocinar y calentarse, esto principalmente en países en vías de desarrollo, ya que esta fuente de energía es asequible para toda su población y cumple con su propósito sin alterar gravemente su ecosistema (García & Masera, 2016).

El interés de buscar nuevas fuentes de energía más amigables con el medio ambiente ha sido un tema de discusión desde la promulgación del desarrollo sustentable en la cumbre de Río, en el año de 1993, pero que actualmente de acuerdo a la promulgación del Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el año 2017 hace una revisión de 17 Objetivos de implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Este informe se basa en los últimos datos disponibles. Destaca tanto los logros como los desafíos a medida que la comunidad internacional avanza hacia la plena realización de las ambiciones y principios expuestos en la Agenda 2030, dentro de los cuales marca el objetivo número siete que define: el acceso universal a servicios de energía asequibles, fiables y

sostenibles requiere ampliar el acceso a la energía eléctrica y a combustibles limpios y tecnologías más eficientes para cocinar, así como mejorar la eficiencia energética y aumentar el uso de las energías renovables, para todos los países y su población (ONU, 2017).

En México, actualmente, la biomasa no se aprovecha eficientemente a causa de la falta de mercados (García & Masera, 2016) y por la tendencia a consumir combustibles más baratos, usualmente los derivados de fósiles (Rios & Kaltschmitt, 2013). Sin embargo, un estudio reciente elaborado por la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA, 2014) estima la demanda de bioenergía en México para el año 2030 en 810 PJ, donde la distribución sería: 32% en el sector transporte, 28% en el comercial, 25% en la industria y 15% en la generación de electricidad. Estas necesidades energéticas podrían ser cubiertas con biocombustibles sólidos (leña, astillas, RAC, pellets de residuos agrícolas y forestales), biocombustibles líquidos (etanol de caña de azúcar y sorgo dulce y biodiésel de palma aceitera y *Jatropha*) y biocombustibles gaseosos (a partir de residuos urbanos y el estiércol de ganado) (García & Masera, 2016).

Un estudio más reciente elaborado por la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA, 2015) confirma las proyecciones de IEA y para México estima que en 2030 la participación de la biomasa será de 22% en la industria, 4% en el transporte y 3 % en el sector residencial.

En México, la participación de la biomasa en la oferta de energía primaria del año 2013 fue de 4.22% (SENER, 2017). La mayor parte de esta biomasa (2.83%) correspondió a la leña usada en fogones tradicionales para cocción de alimentos, como fuente de calor en pequeñas industrias (ladrilleras, mezcaleras, talleres alfareros) y como materia prima en la producción de carbón vegetal.

Aquí hago un paréntesis y tomo una frase utilizada a menudo por ambientalistas, y desarrolladores de ecotecnologías en beneficio del medio ambiente, la cual definen que para realizar un verdadero cambio de mentalidad energética primero se tiene que pensar globalmente y actuar localmente, es decir desarrollar tecnologías que

puedan aprovechar los recursos energéticos que se tienen para beneficiar a un sector en específico en este caso algo local y a partir de allí demostrar que se puede hacer una transición energética como lo marca la Secretaría de Energía, que con poco recurso y baja tecnología se puede aprovechar un recurso renovable como lo es la biomasa y tener una fuente de energía alterna.

Así pues, la presente investigación está dirigida a determinar la factibilidad de producir briquetas a partir de aserrín de pino, con la finalidad de producir un biocombustible sólido mediante el aprovechamiento de residuos de la misma comunidad, sin el uso de aditivos o componentes tóxicos, esto sería una fuente de energía alternativa viable y sostenible ambientalmente, y su implementación permitirá la disminución de los porcentajes del consumo de la leña utilizada en actividades domésticas de las zonas rurales, además contribuirá significativamente a la preservación y conservación de los recursos naturales existentes.

1.1. JUSTIFICACIÓN

Actualmente la matriz energética global depende de los combustibles fósiles, existen acciones y compromisos de diversos países para promover la transición energética hacia las fuentes renovables. México tiene el compromiso de reducir sus emisiones de efecto invernadero en 50% para el 2050, y el uso de la biomasa se vuelve una opción atractiva para complementar la matriz energética nacional.

La mitad de la población mundial depende del uso de la biomasa para satisfacer necesidades de cocción y calefacción. El costo del gas LP se incrementa y se agota con el paso del tiempo, mientras que el uso de la biomasa es usado sin conocer las características físicas óptimas. El uso de residuos agrícolas y maderables contribuye al manejo y explotación de los bosques.

La Meseta Purépecha del estado de Michoacán, es una zona con un alto índice de aprovechamiento forestal y maderable sobre todo en especie del genero *Pinus spp* para diferentes actividades de la vida cotidiana de la población.

La madera, y consigo su derivado la leña, es la fuente más antigua de calor utilizada por el hombre, lo que quizás se debe al hecho de que es mucho más accesible que

otros combustibles. A esa accesibilidad se debe el que aún hoy día se siga quemando en hogares campesinos (Valderrama y Cesar, 2013). Una de las actividades que se le da al uso de la leña es para la cocción de alimentos que es habitual por tradición y cultura en hogares campesinos e indígenas de la meseta Purhépecha algunas comunidades, como la de San Francisco Pichátaro, además de la extracción de leña para su propio uso o comercial, su economía principal está basada en la industria maderera con la fabricación de muebles para diferentes usos, por lo que cuenta con diferentes carpinterías que diariamente producen grandes cantidades de residuos de aserrín y viruta por día, que actualmente no tiene ningún uso o fin comercial; la viruta y el aserrín por no tener un valor agregado muchas veces genera problemas de almacenamiento. El aprovechamiento de estos residuos potencializará el uso de los biocombustibles sólidos procesados, al mismo tiempo que puede impulsar el mercado local mediante la producción de briquetas que pueden tener aplicaciones residenciales, comerciales y posiblemente industriales de pequeña escala. Esta investigación integra aspectos multidisciplinarios que van desde la oferta de residuos maderables hasta su aplicación en dispositivos de uso final; buscando evaluar la reducción de los impactos a la salud y al ambiente.

La Comunidad de San Francisco Pichátaro del estado de Michoacán para el año 2010 según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), cuenta con una población total de 4,952 Habitantes de dicha población sólo el 23% consume gas LP, el 15% utiliza leña y gas LP y el resto utiliza leña para la cocción de sus alimentos principalmente, generando emisiones que afectan la vista, la piel y las vías respiratorias, especialmente en niños y amas de casa de estos hogares, así como deterioro de los recursos naturales existentes. A un cuando no existe un informe de evaluación que permita conocer la situación actual del uso de la leña en esta población, es importante determinar, si existe un agotamiento de los recursos naturales, especialmente de la madera que la población dispone cada vez menos.

Es por ello que con el desarrollo de esta investigación se realizará un aporte significativo a esta Comunidad, con el aprovechamiento de los residuos de aserrín

procedentes de los sectores manufactureros de muebles, los cuales serían transformados en un biocombustible sólido amigable con el medio ambiente.

De igual forma, la producción de briquetas ecológicas representa una alternativa energética sustentable, porque contribuye a la preservación y conservación de la vegetación boscosa nativa, al aprovechamiento de este residuo maderable y al impulso de nuevos mercados (Atencio & Fernández, 2007).

1.2. OBJETIVO GENERAL

Aprovechar el aserrín y viruta de pino (*Pinus spp*) de la Comunidad de Pichátaro para la producción y evaluación de briquetas, así como la caracterización físico-energéticas del residuo maderable (aserrín y viruta) para la generación de energía calorífica, como aprovechamiento sustentable de esta biomasa, con la finalidad de que esta energía alterna pudiera ser económicamente factible en la comunidad de San Francisco Pichátaro, Michoacán.

1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la mezcla ideal de materia prima para la producción de briquetas para su análisis de eficiencia de energía y durabilidad por masa presente en la combustión.
2. Caracterizar las propiedades físicas y energéticas de los biocombustibles sólidos producidos en comparación de la leña convencional.
3. Estandarizar el proceso de producción para garantizar la homogeneidad de los biocombustibles sólidos.
4. Evaluar y transferir esta tecnología, a través de dispositivos de uso final, para determinar el desempeño energético y de emisiones utilizados para tareas de cocinado.

1.3. HIPÓTESIS

Al reutilizar el aserrín y la viruta de (*Pinus spp*) para la producción de biocombustibles sólidos procesados como las briquetas, será una alternativa al uso de la leña tradicional en dispositivos de uso final, al mismo tiempo que disminuye los consumos energéticos y emisiones en tareas de cocinado.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

Hace unas décadas prevalecía la idea de un mundo lleno de recursos inagotables; en la actualidad esta visión se ha venido abajo. La fuerte e incesante presión ejercida sobre los recursos naturales por la creciente población humana, ha vuelto la necesidad de hacer frente a dicho deterioro de los recursos naturales.

Un modelo teórico como el desarrollo ambiental, busca hacer conciencia en millones de personas que habitan este planeta, con la finalidad de dar solución a los problemas ambientales tales como el cambio climático global; siendo la mayor amenaza que enfrenta la vida, tal y como hoy la conocemos, porque eleva la temperatura promedio del planeta, otro problema ambiental es la de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que alteran el equilibrio energético del sistema climático, lo que provoca un calentamiento global del planeta (Vendejo, 2007).

2.1. EL BOSQUE Y LOS RECURSOS NATURALES DE LA COMUNIDAD DE SAN FRANCISCO PICHÁTARO

La comunidad de Pichátaro se ubica en la denominada meseta Purhépecha, es una tenencia que pertenecía al municipio Tingambato en el estado de Michoacán; actualmente se rige por un modo de gobierno autónomo, además forma parte de la Cuenca del lago de Pátzcuaro y se localiza a 19° 34" N y 101° 40" O ver (Fig. 2.1) a una altitud de 2350 m (Francisco-Arriaga et al., 2011).



Figura 2.1. Mapa macro y micro de localización de la comunidad de San Fco. Pichátaro

De acuerdo al último censo de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) la población es de 4,952 habitantes. 2,366 hombres y 2,586 mujeres, ver (Fig. 2.2) el clima usualmente es cálido con temperaturas de 25 grados (INEGI, 2010).



CATÁLOGO DE
Localidades



SEDESOL
SECRETARÍA DE
DESARROLLO SOCIAL



Home

Sistema de Apoyo para la Planeación del PDZP

BÚSQUEDA

Clave

▼

Municipio

▼

Buscar

CLAVE LOCALIDAD

Ir

Información de localidad

Datos actuales						
Clave INEGI	160900007					
Clave de la entidad	16					
Nombre de la Entidad	Michoacán de Ocampo					
Clave del municipio	090					
Nombre del Municipio	Tingambato					
Grado de marginación municipal 2010	Medio					
Clave de la localidad	0007					
Nombre de la localidad	San Francisco Pichátaro					
Estatus al mes de Octubre 2015	Activa					
Año	2005					
Datos demográficos	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
Total de población en la localidad	2,172	2,451	4,623	2,366	2,586	4,952
Viviendas particulares habitadas		815			1,084	
Grado de marginación de la localidad <i>(Ver indicadores)</i>		Alto			Alto	
Grado de rezago social localidad <i>(Ver indicadores)</i>		3 medio			Medio	
Indicadores de carencia en vivienda <i>(Ver indicadores)</i>						
	2010					
	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total

Figura 2.2. Censo de la comunidad de Pichátaro

Dentro de las actividades productivas de la comunidad, la actividad forestal es la más importante pues la zona cuenta con una superficie total aproximada de 10,000 hectáreas en ella interactúan varias especies predominando el pino, ver (Fig. 2.3) la mayoría de la población depende de la producción del bosque, el cual genera unos 750 empleos y recursos económicos durante todo el año (CREFAL, 2000).



Figura 2.3. Vista panorámica de la comunidad de Pichátaro

Dentro de la Comunidad son tres las actividades forestales más importantes para la vida del lugar:

- La explotación resinera. Se refiere a la extracción de la resina que la gente con derecho de monte recolecta y la comercializa en un centro de acopio que se encuentra en la misma comunidad.
- La explotación maderable. En esta actividad hay un gran desorden ya que actualmente no hay un control de cuantos árboles se deben derribar en cierto tiempo, y la gente que tiene esta práctica son considerados talamontes.
- La artesanía y pequeña industria. Es la actividad económica principal de la comunidad todos los derivados que se puedan obtener de los árboles que son aprovechados por su gente y generar empleo.

El bosque de la Comunidad de Pichátaro está conformado por una gran biodiversidad que pese a su deterioro por diferentes factores tales como: la tala clandestina, incendios y plagas; en él viven una gran variedad de plantas y animales (Argueta, 2008).

Las especies predominantes en esta región son las de pino y encino, para el caso del pino las especies de: cancimbo (*Pinus pseudostrobus*), lacio (*Pinus montezumae*) y pino chino (*Pinus leiophylla*); en los encinos, el encino avellano (*Quercus rugosa*) y el encino laurelillo (*Quercus laurina*) ver (Fig. 2.4), también se encuentran otras especies arbóreas, hierbas y arbustos abarcando un área arbolada de 3,488 ha y el resto, es decir 6,031 ha no está arbolado. Teniendo la comunidad de Pichátaro una superficie total de 9,519 ha (Francisco-Arriaga et al 2011).



Figura 2.4. El bosque de la comunidad de Pichátaro

2.2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES

Es posible que, el momento más decisivo para la humanidad haya sido el descubrimiento del fuego, y gracias a él, comenzó a ser capaz de controlar y modificar muchos procesos que hasta ese momento dependían únicamente de la naturaleza. Desde entonces la energía ha sido un elemento indispensable en la satisfacción de las necesidades cotidianas de todos los ámbitos sociales, partiendo

de los usos y equipos más elementales, como la cocción de alimentos con el fuego, hasta los sofisticados aparatos electrónicos dedicados a las sociedades modernas.

Hace unas décadas prevalecía la idea de un mundo lleno de recursos inagotables; en la actualidad esta visión se ha venido abajo. La fuerte e incesante presión ejercida sobre los recursos naturales por la creciente población humana, ha vuelto la necesidad de hacer frente a dicho deterioro de los recursos naturales, para tal fin, como alternativa emerge el concepto de desarrollo sustentable (Rincón, 2010).

En México se consideran energías renovables aquellas reguladas por el artículo 3º fracción II de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica (SENER, 2015).

La Estrategia Nacional de Energía 2012-2026, enviada al H. Congreso de la Unión el 29 de febrero de 2012, establece que la generación eléctrica a partir de energías limpias debe alcanzar una participación de 35% de la generación total en 2,026. Sin embargo, los costos de generación de estas tecnologías aún resultan elevados en comparación con otras fuentes de energía (Herrera, 2012).

El desarrollo de los sistemas de aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (FRE), contribuyen a proporcionar una completa seguridad de su suministro energético ya que tiene una gran disponibilidad debido a la amplia gama de tecnologías para su aprovechamiento y se adapta a las políticas de suministro energético, además no implica grandes gastos económicos a los países que apliquen este tipo de tecnología ya que a futuro se recupera la inversión (Estrada et al., 2010).

La clasificación de la energía es relativa, existen sub clasificaciones de las energías renovables en: energías convencionales y no convencionales, de acuerdo a su uso en el tiempo.

El siguiente diagrama muestra los tipos de energía que existen en nuestro entorno.

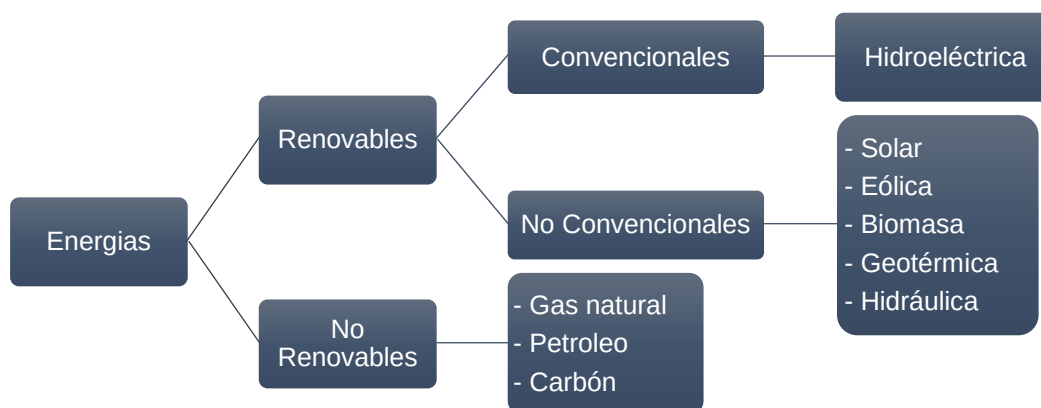
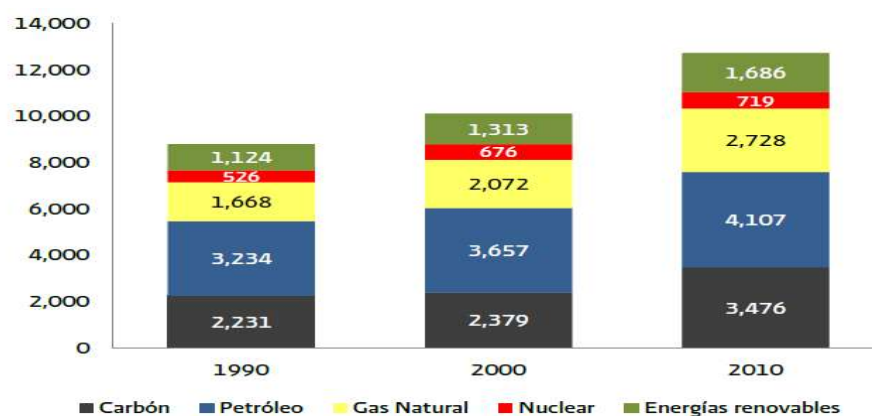


Figura 2.5. Clasificación de los tipos de energías

Las energías renovables crecieron a una tasa promedio anual de 2.9% de 1990 a 2010, y contribuyeron con 19.4% de la generación de energía eléctrica mundial.

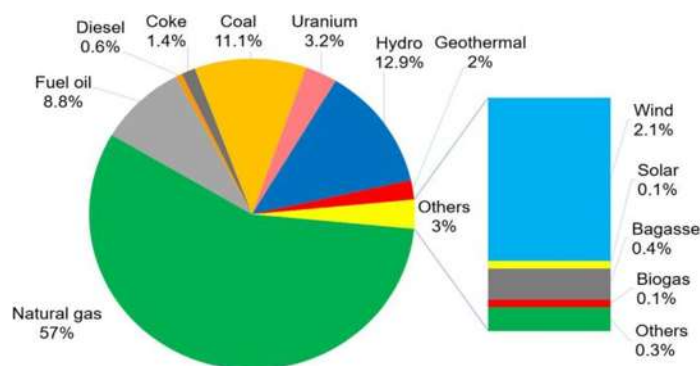
(Millones de toneladas de petróleo equivalente)



Gráfica 2.1. Distribución de la demanda mundial de energía, 1990-2010 (IEA, 2012)

Como se muestra en la Gráfica 2.1, entre 1990 y 2010, la demanda mundial de energía se incrementó de 7,216 millones de toneladas de petróleo (Mtpe) equivalente a 12.715 Mtpe. Para el 2014 el consumo mundial de energía primaria fue de 12.928,4 Millones de toneladas de petróleo basado principalmente en combustibles fósiles como Petróleo, gas natural y el carbón son los principales combustibles para la producción de energía primaria (Herrera, 2012).

En el caso de México, los principales combustibles para la energía primaria en 2014 fueron, petróleo con un 45%, seguido de gas natural con el 40% y carbón con el 8%. Respecto a la energía eléctrica en México, como se muestra en la gráfica 2.2 el 57% de la energía es generada por Gas natural, el 12.9% se genera por hidroeléctrica y el 11.1% se genera por el carbón. Las energías renovables generan sólo el 3% de la electricidad (Alemán-Nava et al., 2014).

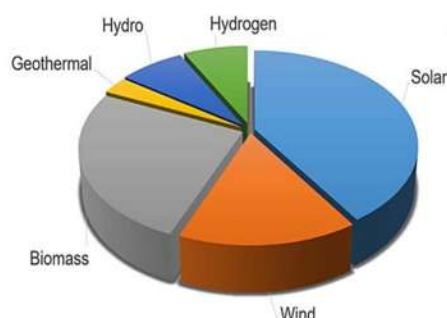


Gráfica 2.2. Fuentes de generación de energía eléctrica en México 2014 (Alemán-Nava et al., 2014).

Por consiguiente, el uso de electricidad proveniente de fuentes renovables en México es muy bajo y hay un aumento en la demanda de energía del 3.4% anual. El Gobierno mexicano tiene el objetivo de generar 35% de la electricidad a partir de fuentes renovables para 2025 para lograr este objetivo el gobierno tiene que invertir en Investigación y desarrollo, así como en la búsqueda de mecanismos y la fomentación del despliegue de las energías renovables, ya que el despliegue de La tecnología se basa en la inversión acumulada en Investigación y Desarrollo. En este sentido para generar el 35% de electricidad de fuentes renovables para 2025. El gobierno También debería de tomar acciones como dirigirse a un uso más moderado de la energía para lograr Sostenibilidad (Pérez-Denicia et al., 2017).

Por último, las instituciones mexicanas han realizado investigaciones sobre la generación de energía mediante fuentes renovables, se estima que el potencial de generación de energía se puede generar a través de la energía solar con un porcentaje del 41%, seguido por la biomasa con un 26%, y con el 15% la producida

a través del viento, y el 10% generada de otras fuentes como se puede ver en la gráfica 2.3 (Pérez-Denicia et al., 2017).



Gráfica 2.3. Producción científica realizada por instituciones mexicanas en el campo de las energías renovables (Pérez-Denicia et al., 2017).

2.3. LA BIOENERGÍA Y SU IMPORTANCIA

La bioenergía se entiende que es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica o industrial formada en algún proceso biológico o mecánico; generalmente se obtiene de las sustancias que constituyen los seres vivos (plantas, animales, entre otros residuos). La reciente dependencia energética y las políticas de cambio climático favorecen el desarrollo de Bioenergía, que a partir de ella se puede generar biocombustibles tanto sólidos, líquidos y gaseosos principalmente; en los últimos 15 años estos biocombustibles han sido Investigados, producidos y utilizados (Masera, 2011). Los Biocombustibles es energía renovable que se obtiene por transformación química o física de la biomasa como se mencionó anteriormente se pueden clasificar como se muestra en la figura 2.6.

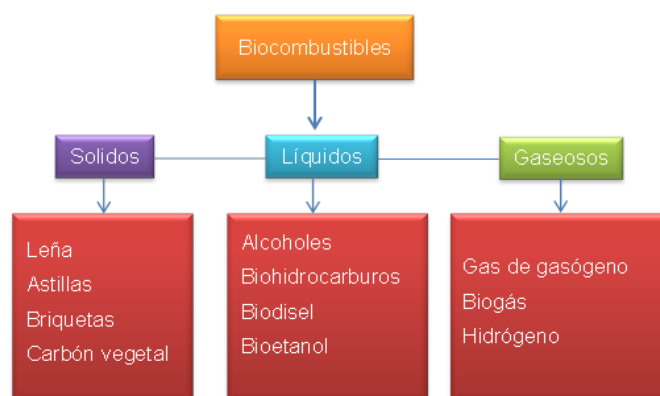


Figura 2.6. Clasificación de los biocombustibles

- Biocombustibles sólidos (leña, carbón vegetal, residuos agrícolas, residuos forestales, pellets, briquetas): que pueden quemarse directamente o previa gasificación o pirólisis, para producir calor y electricidad.
- Biocombustibles líquidos (bioetanol y biodiesel): obtenidos de cultivos energéticos como caña de azúcar y oleaginosas o aceite vegetal usado.
- Biocombustibles gaseosos (biogás, biometano): obtenidos de los residuos municipales y estiércol.

Los bioenergéticos (o biocombustibles) también pueden ser clasificados de acuerdo a las tecnologías empleadas en su obtención. En general, el desarrollo global y la utilización de bioenergía y biocombustibles generan el 30 % de la energía demandada del mundo (Guo et al., 2015).

Por otra parte, la bioenergía presenta varias ventajas en comparación con las energías convencionales que son derivadas de los fósiles debido a su impacto positivo en el ambiente, en la economía y en el desarrollo social. En términos ambientales, la bioenergía, si es desarrollada de forma adecuada, permite mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al sustituir los combustibles fósiles que son actualmente predominantes, de esta manera al reutilizar estos desechos orgánicos y convertirlos en biocombustible se podrían reducir los daños ambientales que se generan constantemente (Chum et al., 2011).

Y en términos socioeconómicos puede promover la creación de empleo por medio de la producción de Bioenergéticos además, el uso de leña en estufas mejoradas permitiría disminuir impactos negativos a la salud por la eliminación de humo intramuros y promovería mejorar la calidad de vida (Van et al., 2015).

Algunos estudios señalan que México al proponerse reducir los gases de efecto invernadero (GEI) solo podrá lograr esta mitigación para 2030 y 2050 con una importante participación de la bioenergía, especialmente en los sectores eléctrico, transportista, industrial, residencial, agrícola y cambio de uso de suelo, y con ello lograr una transición energética a fuentes renovables de energía, además de que

será necesario adoptar metas mucho más ambiciosas para la bioenergía que las previstas hasta ahora a nivel gubernamental (García et al, 2015).

La Biocombustibles están enfocados en el conocimiento de los sistemas de aprovechamiento energético de la biomasa tomando en cuenta aspectos técnicos, económicos y ambientales, así como la situación actual y futura del sector de los Bioenergéticos dentro de un contexto nacional e internacional.

Su uso genera una menor contaminación ambiental y son una alternativa viable al agotamiento ya sensible de energías fósiles, como el gas y el petróleo, donde ya se observa incremento en sus precios.

Los biocombustibles se dividen en primera, segunda y tercera generación. Los bioenergéticos (o biocombustibles) también pueden ser clasificados de acuerdo a las tecnologías empleadas en su obtención como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Clasificación de los Bioenergéticos con base en sus diferentes generaciones tecnológicas.

Bioenergéticos	Sólidos	Líquidos	Gaseosos
1ª generación	Leña, carbón vegetal, bagazo, pellets	Bioetanol, biodiesel, licor negro	Biogás, gas de síntesis
2ª generación	Biochar, torrefactos, Torpellets	Etanol celulósico, diésel, aceite de pirólisis	
3ª generación		Diésel de algas, etanol de algas	Biohidrógeno

La Importancia de los biocombustibles como fuente de energía renovable puede contribuir a reducir el consumo de combustibles fósiles, responsables de la generación de emisiones de gases efecto invernadero.

Estos biocombustibles actualmente son importantes ya que a través de ellos podría sustituir el combustible fósil, en los últimos 10 años el desarrollo de los Biocombustibles en varios países se han autorizado a través leyes y regulaciones

para el desarrollo sostenible de estos mismos; el gobierno de cada país ha promovido los medios de subsistencia y el proceso de elaboración de la materia prima, desde la experimentación hasta la industrialización, el objetivo es reducir los riesgos de inversión, este Biocombustible es una energía de bajo costo y sostenible, los biocombustibles ya han cubierto el 2% del total de combustibles del transporte y se espera que la proporción de bionergético se promueva rápidamente con el desarrollo de la ciencia y la tecnología (Su et al., 2015).

En lo que respecta a manera de resumen de la bioenergía, se espera que en los siguientes años el uso de residuos de la biomasa se traduzca en una disminución en el uso de energías de origen fósil, y que haya un crecimiento en el desarrollo de proyectos de Biocombustibles para el transporte, así como para el biogás y bioenergéticos de segunda y tercera generación.

2.4. BIOMASA

Según el Diccionario de la Real Academia Española, la palabra biomasa se define como “Biol. Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen” (RAE, 2001).

La biomasa es una fuente de energía renovable debido a que su contenido energético proviene de la energía solar transformada en los procesos fotosintéticos, la cual se libera al romperse los enlaces de los compuestos orgánicos durante el proceso de combustión, emitiendo bióxido de carbono y agua.

La energía de la biomasa se encuentra disponible en estado sólido, líquido o gaseoso y puede tener distintas aplicaciones, tales como la generación de energía térmica, la generación de energía eléctrica o el uso directo para la generación de calor; en este último caso el calor específico de la biomasa va a depender del origen de la misma y de su humedad. Sin embargo, la forma más eficiente de utilizar la biomasa es la cogeneración, proceso en el que se aprovecha la electricidad, pero también el calor que se genera como producto secundario, algo que no ocurre en una central eléctrica pura ya que el calor se escapa contaminando térmicamente la atmósfera (Kiss & Alexa, 2014).

Esta energía se extiende posteriormente a todos los seres vivos e inevitablemente está contenida en los diferentes residuos orgánicos que aquellos generan, la cual se obtiene directa o indirectamente de estos recursos biológicos de las siguientes formas como se muestra en la figura 2.7.



Figura 2.7. Biomasa

En resumen, podemos concluir que la energía de la biomasa tiene carácter de energía renovable ya que su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Esta energía se libera al romper los enlaces de los compuestos orgánicos en el proceso de combustión, dando como productos finales dióxido de carbono y agua. Por este motivo, los productos procedentes de la biomasa que se utilizan para fines energéticos se denominan biocombustibles, pudiendo ser, según su estado físico, biocombustibles sólidos, ver (Fig. 2.8) en referencia a los que son utilizados básicamente para fines térmicos y eléctricos.



Figura 2.8. Diferentes tipos de biomasa residual

En la mayoría de los países en vías de desarrollo, y la demanda de energía de los hogares tradicionales que utilizan como energía biomasa leñosa, residuos agrícolas, estiércol animal y carbón vegetal, entre otros. Se considera que, a nivel mundial, tres mil millones de personas siguen utilizando combustibles. Cerca del 75% de los hogares rurales de los países en desarrollo, todavía cumplen su requisito de energía de cocción a través de combustible derivado de la madera y es utilizada en las estufas tradicionales. La biomasa para cocinar es, básicamente, quemarla al fuego, en donde su sistema de cocción es un sistema cerrado por ladrillos o barro para actuar como escudo contra el viento, La cocina en muchos países en desarrollo generalmente queman la biomasa tradicional utilizando estufas tradicionales o tres tipos de estufas de tipo piedra que son muy ineficientes porque sólo el 5-10% de la energía potencial del combustible de biomasa se utiliza en el proceso de cocción (Mehetre et al., 2017).

El uso de la biomasa en México, en el sector doméstico es el más intensivo, principalmente en el consumo de leña. Datos de la SENER para 2014 señalaron que aproximadamente el 4.22% de la energía primaria total en México provenía de la biomasa, la mayor parte el 2.83% correspondía al uso de la leña que los habitantes cocinaban sus alimentos con la quema directa de la biomasa. Ésta, también, fue utilizada como combustible en pequeñas industrias como las ladrilleras, panaderías, tortillerías y producción de carbón vegetal (Maserá et al., 2016).

La biomasa es una excelente alternativa energética por dos razones.

1. La primera es que, a partir de ella se pueden obtener una gran diversidad de productos;
2. la segunda, se adapta perfectamente a todos los campos de utilización actuales de los combustibles tradicionales.

Así pues, mediante procesos específicos, ver (Fig. 2.9) se puede obtener toda una serie de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que pueden ser aplicados para

cubrir las necesidades energéticas de confort, transporte, cocción, industria y electricidad, o servir de materia prima para la industria.

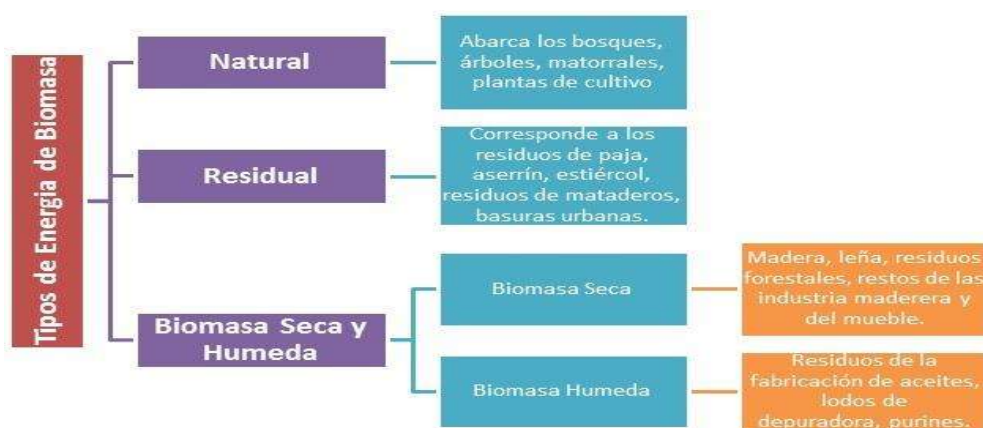


Figura 2.9. Tipos de la energía de la biomasa

2.5. LOS BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS

El aprovechamiento energético de residuos agrícolas, tiene la gran ventaja de integrarse en el uso de suelo para la producción de alimentos. También en este caso, hay diferentes estimaciones sobre su potencial uso energético.

Según una estimación (Rios & Kaltschmitt, 2013), en México existe un potencial para uso energético de 472 PJ/a, proveniente principalmente de residuos del maíz, la caña de azúcar, el sorgo y el trigo, considerando una tasa de remoción de residuos del 40%. Estos cultivos aportan el 85% de los residuos agrícolas del país (Aldana et al., 2014), pero sus usos actuales para generar energía son muy limitados.

La creciente conciencia ambiental ha motivado la valorización de la biomasa para la producción de energía, la tendencia actual es hacia la investigación en materia de biocombustibles de segunda generación, que permiten la transformación de la biomasa lignocelulósica (obtenida a partir de residuos forestales o de cultivos, maderas de bajo precio o serrín) en energía (Alemán-Nava et al., 2014).

Los biocombustibles sólidos son materia vegetal, como astillas de madera y otros tipos de biomasa sólida o leñosa, que puede utilizarse como combustible directamente por lo general en las cocinas tradicionales. Una fuente importante de

generación de biomasa sólida es la que se deriva de los aprovechamientos forestales (Goche et al., 2016).

A nivel mundial los biocombustibles sólidos son una opción importante para la generación de energía calorífica principalmente. En México se emplean y se comercializa la leña y el carbón vegetal sin considerar algunos aspectos de calidad, solo se contemplan costos de producción, almacenaje y transporte.

Según la naturaleza de la biomasa, y el tipo de combustible deseado, se pueden utilizar diferentes métodos para obtener biocombustibles: mecánicos (astillado, trituración, compactación), termoquímicos (combustión, pirólisis y gasificación), biotecnológicos (fermentación y digestión microbiana anaeróbica) y extractivos. En la tabla 2.2 se presentan los principales procesos de obtención de biocombustibles, los productos derivados y sus aplicaciones (Reyes et al., 2016).

Tabla 2.2. Tipos de materia prima Forestal para la producción de Biocombustibles Sólidos

Procesos de obtención de biocombustibles						
Mecánicos	Termoquímicos			Biotecnológicos		Extractivos
Técnicas	Astillado Trituración Compactación	Pirólisis	Gasificación	Fermentación	Digestión anaerobia	Extracción físico-química
Productos	Leñas Astillas Briquetas Aserrín	Carbón Aceites	Gas de gasógeno	Etanol Varios	Biogás	Aceites Ésteres Hidrocarburos
Aplicaciones	Calefacción Electricidad	Calefacción Electricidad Transporte Industria química	Calefacción Electricidad Transporte Industria química	Transporte Industria química	Calefacción Electricidad	Transporte Industria química

2.6. TIPOS DE MATERIA PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS

Los biocombustibles sólidos son portadores de energía que se encuentra almacenada, y se derivada de la biomasa. Esta energía se puede utilizar en una amplia gama de fuentes de biomasa para producir bioenergía en diversas formas. Por ejemplo, los residuos de madera elaborada proveniente del sector industrial; los

cultivos energéticos y los desechos agrícolas provenientes del sector de la agricultura, tanto como los residuos provenientes del sector forestal, se pueden usar para generar electricidad, calor, calor y energía combinados y otras formas de bioenergía. Por lo tanto, se puede decir que los biocombustibles son una fuente de energía renovable porque aprovechan los diferentes residuos y son transformados en energía limpia para su uso (Fernández, 2013).

Los biocombustibles se pueden clasificar según la fuente y el tipo. Se derivan de productos forestales, agrícolas y pesqueros o desechos municipales, así como de subproductos y desechos de la agroindustria.

2.6.1. ASTILLAS

Según la clasificación de las astillas citada por Estévez (2014). Dicha clasificación se establece en función de la calidad, definida por la procedencia de la materia prima, al hacer esta clasificación se obtienen dos tipos de astillas denominadas de clase 1 y clase 2. Como se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Clasificación de las astillas

TIPO DE ASTILLA	DESCRIPCION
Astillas de clase 1	Proveniente de maderas forestales muy limpias con humedad inferior al 30 %
Astillas de clase 2	Procedentes de tratamientos silvícolas, agrícolas y forestales con humedad de hasta el 45 %

Las astillas de clase 1 son apropiadas para viviendas y todo tipo de instalaciones, mientras que las astillas de clase 2 se utilizan para instalaciones de media y alta potencia, como grandes edificios y redes de calefacción, ver (Fig. 2.10).



Figura 2.10. Imágenes de astillas

2.6.2. ASERRÍN

A este material, que en principio es un residuo o desecho de las labores de corte de la madera, ver (Fig. 2.11) se le han buscado destinos diferentes con el paso del tiempo. Se ha usado como cama o lecho para animales en bruto, o bien tras su procesado, siendo aglutinado y pelletizado. En los últimos años ha aumentado su uso para la fabricación de pellets y briquetas destinados a la alimentación de calderas de biomasa (Concepción et al., 2016).



Figura 2.11. Aserrín acumulado de diferentes procesos en la comunidad de Pichátaro

2.6.3. VIRUTA

Se le denomina viruta al proceso de cepillado y canteado de la madera, dicho desperdicio ver (Fig. 2.12) actualmente solo se utiliza como materiales de cama sobre la productividad de pollos de engorde. La mayoría de las granjas avícolas utilizan algún tipo de material de cama en la crianza de las aves, con el fin de aislarlas del contacto directo con el suelo (Atencio & Fernández, 2007).



Figura 2.12. Desperdicio de viruta residuo producción por el proceso de cepillado y canteado en un taller maderero

2.7. TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS PROCESADOS

Como se mencionó en capítulos anteriores se consideran biocombustibles sólidos a aquellos combustibles no fósiles, compuestos por materia orgánica obtenidos a partir de la biomasa pueden ser producidos a partir de la misma mediante procesos físicos, susceptibles de ser utilizados en aplicaciones energéticas.

Las características de cada biocombustible sólido varían según su composición y humedad, de manera que la energía que puede generarse por unidad de masa o de volumen depende de estos parámetros. Por ello es importante el PCI (poder calorífico inferior) de cada producto. Actualmente gracias al desarrollo del mercado, existen gran cantidad de combustibles comerciales empleados mayoritariamente en sistemas de calefacción. Los más comunes se muestran en la tabla 2.4 y en la figura 2.13.

Tabla 2.4. Biocombustibles solidos derivados de la biomasa forestal

Biocombustible	Tamaño de la partícula típico	Método de preparación
Briquetas	Diámetro mayor a 25 mm	Compresión mecánica
Péllets	Diámetro mayor a 25 mm	Compresión mecánica
Astillas	5 a 100 mm	Corte con herramienta de filo
Carbón vegetal	-	-



Figura 2.13. Diferentes Biocombustibles solidos derivados de la biomasa forestal

2.7.1. PÉLLETS

Los pellets son un producto totalmente natural, catalogado como biomasa sólida, como generador de biocombustible sólido el cual está formado por cilindros muy

pequeños, de unos pocos milímetros de diámetro. En general las medidas normalmente pueden ser de un diámetro entre 7 y 22 mm y longitudes de 3.5 a 6.5 cm (Vega et al., 2016). Como se muestra en la figura 2.14. Elaborados a partir de serrín natural seco, sin ningún aditivo, ya que se utiliza la propia lignina que contiene el aserrín como aglomerante, comprimiendo el aserrín a una alta presión para formar el pellet, lo que hace que los pellets tengan una composición muy densa y dura. Consiguiendo con ello un gran poder calorífico (Ngangyo et al, 2016).



Figura 2.14. Pellets y dimensionamiento promedio

A nivel mundial la demanda de pellets presenta escenarios muy prometedores con este biocombustible, para el año 2020 China y Europa occidental serán los países con mayor demanda, mientras que América del Norte, Europa Occidental y china serán los principales productores (Ordoñez, 2014).

Actualmente en México no existe un manejo o una aplicación para el desperdicio de recursos forestales que se generan a diario en las macro y micro empresas que trabajan la madera, esta carencia de aplicación puede deberse a la falta de tecnología para el aprovechamiento de estos residuos maderables. Un dato importante es que no existen datos precisos acerca de la cantidad de aserrín que se genera en la industria mexicana de aserrío (Rivas & Morales, 2001).

Pero se puede decir que en México se tiene la materia prima necesaria tanto forestal como agrícola para la producción de pellets solo falta la iniciativa tanto del productor como el del inversionista para generar un proyecto rentable en materia de biocombustibles sólidos.

2.7.2. CARBÓN VEGETAL

El carbón vegetal, se obtiene de cáscaras de coco, madera de haya, eucalipto, álamo negro, sauce, pino, roble y otros. Este carbón vegetal se forma cuando la madera es calentada en ausencia de aire. Se le llama “carbón activado” cuando está preparado en un laboratorio especializado para aumentar su poder de absorción. Es un producto sólido, frágil y poroso, la capacidad de producir calor desde una perspectiva energética del carbón es más eficiente que el de la madera original, además de que produce menos contaminación atmosférica, menos humo es más fácil de almacenar entre otras ventajas (Guardado, 2010).

El carbón vegetal, ver (Fig. 2.15) es una fuente importante de ingresos para poblaciones rurales y periurbanas, la producción de carbón vegetal se incrementó a nivel global en un 50% entre 1989 y 2008 África y América del Sur son los principales consumidores con alrededor del 50% y 30% del total de la producción respectivamente (FAO, 2010).



Figura 2.15. Carbón vegetal como biocombustible

2.7.3. BRIQUETAS

Según el diccionario de La Real Academia de la Lengua Española, Briqueta (Del fr. brique, y este del neerl. medio brick) es un conglomerado de carbón u otra materia en forma de ladrillo o cilindro (RAE, 2001).

La briqueta es un biocombustible sólido, ver (Fig. 2.16) que se puede obtener mediante la compactación al aplicar grandes presiones y temperaturas elevadas que a su vez provocan la autoaglomeración de las partículas del material que se desee comprimir, o mediante bajas y medianas presiones con ayuda de una sustancia como aglomerante y así lograr su compactación (Fonseca & Tierra, 2013).



Figura 2.16. Producción y combustión de diferentes briquetas a partir de residuos forestales

Las briquetas producidas a partir de la biomasa forestal, pueden tener un alto impacto en las comunidades de bajos ingresos debido a su factibilidad de disponibilidad, bajo costo y sostenibilidad se pueden producir a partir de actividades agrícolas y forestales principalmente, y con ello se quiere contribuir a mitigar la deforestación (Shuma et al., 2017).

A manera de conclusión, podemos decir que la briqueta es un biocombustible sólido que puede ser producido a través de residuos agrícolas y forestales como; aserrín, viruta, astillas principalmente. Catalogada como energía alterna en el marco de la bioenergía sólida, en una forma de diseño cilíndrica principalmente puede sustituir a la leña convencional en muchas ventajas tales como rápido encendido, baja humedad, alta densidad, sin olores, humos menor porcentaje de cenizas entre otras ventajas.

2.8. PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LAS BRIQUETAS

Actualmente la producción de las briquetas se puede realizar mediante un proceso de fabricación rudimentario o un proceso de fabricación industrializado dependiendo del objetivo trazado.

Para la producción de briquetas existen diferentes métodos; que pueden ser a través de mecanismos industriales automatizados o de manera tradicional a través de prensas manuales, básicamente lo que hacen estos dos mecanismos es comprimir y densificar las partículas hasta lograr una conversión físico mecánica de partículas secas, con o sin la adición de un adhesivo hasta obtener la briqueta. Cabe recalcar que en el proceso interviene los siguientes factores: la mezcla del material

base, la presión de la máquina para el proceso, temperatura y el flujo del material que debe ser definida (Gbabo et al., 2015).

Para la producción de briquetas existen diferentes métodos; que pueden ser a través de mecanismos industriales automatizados o de manera tradicional a través de prensas manuales, básicamente lo que hacen estos dos mecanismos es comprimir y densificar las partículas hasta lograr una conversión físico-mecánica de partículas secas, con o sin la adición de un adhesivo hasta obtener la briqueta. Cabe recalcar que en el proceso interviene los siguientes factores: la mezcla del material base, la presión de la máquina para el proceso, temperatura y el flujo del material que debe ser definida (Gbabo et al., 2015).

Para la elaboración de briquetas de forma industrial, existen diferentes tecnologías para producirlas, la función principal es básicamente comprimir y extrusar el material, la biomasa es forzada a pasar a través del orificio de un dado, lo que forma un producto continuo (Chen et al., 2013). Como se muestra en la figura 2.17.

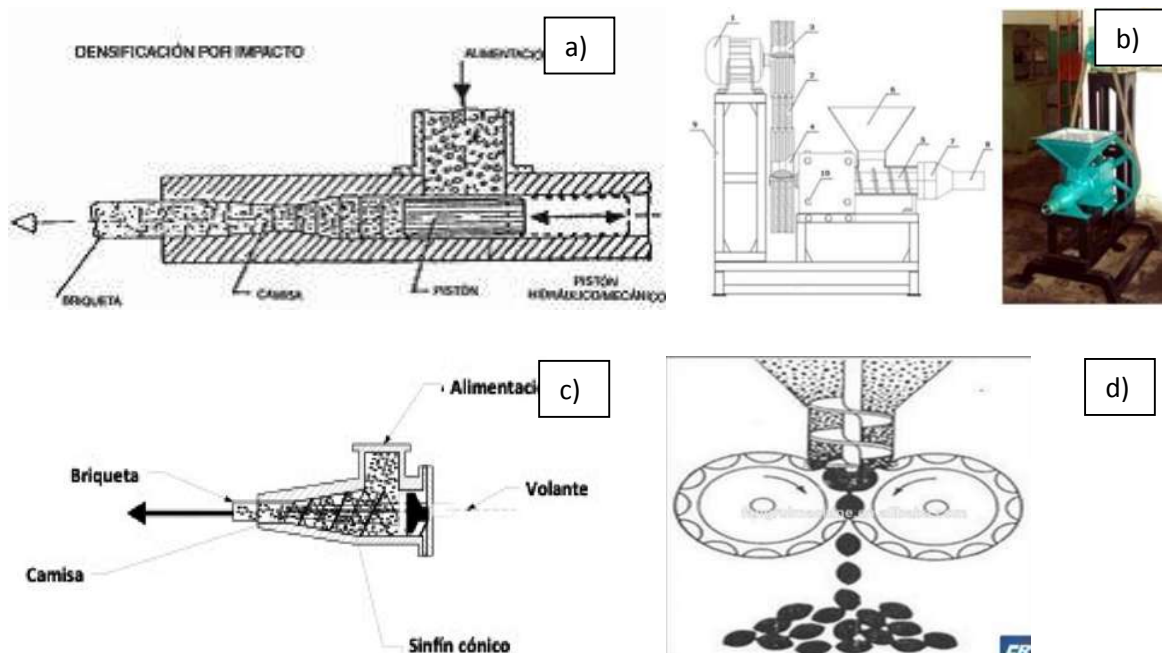


Figura 2.17. Diferentes procesos de para fabricar biocombustibles sólidos.

- a) Briqueteadoras de Pistón. Esta briqueteadora su función es que la biomasa pasa a través de un cilindro y es comprimida hasta obtener una briqueta que termina o sale en la parte final de un dado (Carrillo & Rutiaga, 2016).

- b) Briqueteadora de tornillos. Este tipo de máquina briqueteadora consiste en pasar la biomasa a través de un dado cónico que es calentado desde el exterior con la finalidad de reducir la fricción y de plastificar la lignina. (Fonseca, 2011).
- c) Briqueteadora de prensa hidráulica. Este tipo de máquina briqueteadora su función es que la biomasa cae en el cilindro el cual es prensado muy lento en comparación de la prensa mecánica, la energía que mueve el pistón es transmitida por un motor eléctrico mediante un sistema de aceite hidráulico de alta presión (Carrillo & Rutiaga, 2016).
- d) Briqueteadora de prensa de rodillos. La función de esta máquina es pasar la biomasa por un tubo de alimentación, donde se encuentra un tornillo sin fin que ayuda a densificar esta biomasa por compresión (Kaliyan et al., 2009).

En base a la información recaudada anteriormente se obtiene los datos de las características principales de las máquinas briqueteadoras como se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Características principales de las diferentes maquinas briqueteadoras

Maquina	Ventajas	Desventajas
Briqueteadoras de Pistón	La vida de operación larga Consumo de energía eléctrica bajo	Mantenimiento al pistón.
Briqueteadora de tornillos	briquetas de alta calidad y buena combustibilidad	Degaste del tornillo y mayor consumo de energía
Briqueteadora de prensa hidráulica	Densifica biomasa con mayor contenido de humedad	Consume bastante energía eléctrica
Briqueteadora de prensa de rodillos.	Densifica biomasa por compresión.	

2.9. PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y ENERGÉTICAS DE LAS BRIQUETAS

Se refiere a los diferentes parámetros, como características físicas y composición calorífica que tienen las briquetas.

Para las propiedades físicas se refiere a la forma como se observan las briquetas producidas en un cierto equipo las características físicas comúnmente establecidas

son: La forma y tamaño, color, densidad y contenido de humedad principalmente (Carrillo & Rutiaga, 2016).

La forma de las briquetas puede ser muy variable y depende de la maquinaria utilizada en su obtención. Sin embargo, casi todas las briquetas fabricadas en la actualidad son de forma cilíndrica. También una forma común de las briquetas es la de sección octogonal (García, 2014).

El tamaño de las briquetas varía dependiendo del uso que se le dará y la máquina briqueteadora que se usará para fabricarlas. La máquina define el grosor (ancho de la briketa) mientras que el productor definirá el largo de la briketa. Para industria el largo varía entre 30 y 100 cm, para productores de uso menor el largo estará entre 10 a 50 cm y para el sector familias el largo será entre 2 a 6 cm (Carrillo et al., 2016).

El color de la briketa es igual al del aserrín utilizado, aunque lo ideal y lo más llamativo para los clientes es asemejar el color de la briketa al de la leña para que así en las chimeneas parezca que arda leña.

Densidad. La densidad es el grado de compactación que posee un material que se representa con la siguiente formula:

$$\text{Densidad} = \text{Masa Material} / \text{Volumen del Material}$$

Es decir, cuanto material se encuentra comprimido en un espacio determinado. La densidad está dada en gramos o kilogramos, y se determina por la cantidad de masa de un material, dividido su unidad de volumen (Martínez, 2015).

Por lo tanto, la briketa presenta mayor densidad que otros combustibles elaborados a base de residuos maderables lo cual facilita su transporte, manipulación y almacenamiento.

El objetivo final del proceso de briqueteado es obtener un producto final de mayor densidad que los productos iniciales. A mayor densidad la briketa ocupa menos

volumen (a igualdad de peso) que la leña por lo tanto su manipulación será más sencilla (Martínez, 2015).

Para las propiedades térmicas se puede definir el calor como la cantidad de energía cinética que se encuentra en una molécula, y se deriva en el proceso por el cual esta energía se transfiere de un cuerpo a otro. Al hablar de las propiedades térmicas de la madera, se dice que debido a que este material tiene poros llenos de aire, el cual lo hace ser un mal conductor del calor. Además, aunque sea un material inflamable con facilidad, al quemarse se carbonizan sus partes externas, haciendo que la difusión del calor hacia el interior sea más lenta. Debido a estas características, las briquetas de aserrín se queman lentamente y no con una llama intensa (Archila, 2015).

En lo que se refiere a las propiedades químicas de las briquetas. El poder calorífico es condicionado por la composición química de los materiales. Ya que la composición química de las briquetas dependerá del material utilizado. Es decir, si se emplean aditivos, se deberá tener en cuenta la composición química de los mismos. Lo ideal es conocer los porcentajes (en peso) de madera, corteza y aditivos empleados, así como la humedad a la que se manipulan estos productos. Conocidos estos porcentajes puede evaluarse de forma aproximada la composición química de las briquetas (García, 2014).

CAPÍTULO 3

ANTECEDENTES

Las briquetas o bloque sólido combustible son biocombustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas. Es un producto ecológico y renovable, catalogado como bioenergía sólida, que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas (Shuma et al., 2017).

3.1. DESARROLLO DE LAS BRIQUETAS A BASE DE RESIDUOS MADERABLES

Dentro de nuestro mundo el cual llamamos tierra, durante los últimos años la grave contaminación y el desequilibrio ecológico que la sociedad ha causado por satisfacer sus necesidades básicas ha provocado un grave daño a nuestro planeta, por ello los últimos años la misma sociedad ha buscado desarrollar productos innovadores y tecnológicamente amigables con el medio ambiente.

Aunque no se tienen datos exactos desde cuando se inició con la fabricación de las briquetas de desperdicios maderables (aserrín y viruta principalmente), las primeras fabricaciones industrializadas de briquetas de carbón se dieron en el año de 1920, por el fabricante de autos Henry Ford en conjunto a la asesoría de Thomas Alba Edison (Barbosa, 2009).

Ford conoció un proceso para convertir los restos de madera y aserrín que quedaban en su fábrica de coches, en briquetas de carbón. Estas briquetas, Ford las producía en su fábrica y se las regalaba a cada una de las personas que compraban uno de sus coches.

Dicho anteriormente esto se puede verificar fácilmente que las briquetas no son un producto nuevo, ya que desde el año de 1920 se ha fabricado este producto, incluso en niveles industriales. Desde entonces, se ha ido investigando sobre las briquetas; su composición, características, propiedades, etc. (Barbosa, 2009).

En la actualidad la utilización de los subproductos forestales tiene un alto grado de desaprovechamiento. El aserrín, viruta, astillas, entre otros, normalmente en forma cilíndrica o cuadrada y es un sustituto de la leña con muchas ventajas. Se almacena en grandes espacios físicos o se quema al aire libre, sin poseer un mayor valor agregado o alcanzar una eficiencia energética mayor. Una de las vías para utilizar los residuos maderables es convirtiéndolos en pellets o briquetas, conocidos también como biocombustibles sólidos. Al fabricar este tipo de combustible, se disminuye considerablemente la cantidad de residuos, se reduce el volumen transportado, así como también se logra una combustión más limpia y eficiente.

Las briquetas o bloques sólidos son combustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, hornos y calderas. Es un producto 100% ecológico y renovable, ya que están hechas de desperdicios forestales tales como el aserrín, viruta, ramas, restos de poda, etc., catalogada como bioenergía sólida, que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas: poder calorífico similar, fácil y rápido encendido, baja humedad, alta densidad, ocupa menos espacio, homogéneas, fácil manipulación, sin olores, humos ni chispas y menor porcentajes de cenizas.

En este apartado en primer lugar se hablará de la elaboración de briquetas con aglomerante y con la ayuda de una prensa manual según (Vera, 2014). Para este caso de estudio que se elaboró en Colombia, al producir briquetas con almidón como aglomerante. Las diferentes pruebas que realizaron para determinar la proporción ideal de aglomerante, se replicaron varias briquetas con diferentes mezclas hasta lograr un producto con mayor viscosidad y eficiencia de adherencia, la proporción óptima fue la siguiente como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Mezcla para la realización de briquetas

Yuca fresca utilizada / Kg	Cantidad de almidón producido	Cantidad de almidón utilizado por briqueta	Agua utilizada en la solución
1	230 g	50 g	300 ml

Durante esta actividad del proyecto se diseñaron y fabricaron moldes con tubos de PVC, con las con dimensiones: Diámetro de 2 pulgadas, un largo de 15 cm y un embolo de madera con el que se ejercía la presión a la mezcla sin la utilización de prensas, la cual se determinó en un promedio de 1.0 a 1.7 kPa, que es la fuerza que puede ejercer una persona en promedio (Valderrama & Cesar, 2013). Además, el fabricante dejó una varilla de 3/16 pulgadas para que en la briqueta quedara con un orificio en el centro, esto con el fin de garantizar una mejor solidificación de la briqueta y mayor rendimiento como se muestra en la figura 3.1.



Figura 3.1. Imagen del tamaño de la briqueta para este proceso

Los datos obtenidos de esa investigación fueron los siguientes como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Datos obtenidos de las briquetas elaboradas manualmente

Briquetas	Materiales Briqueta	Poder Calorífico Cal/ g	Poder Calorífico MJ/Kg	Presión ejercida de un rango de 1.0 a 1.7 Kpa a MPa
Experimento 1	Cascarilla de café, Bagazo de caña, Aserrín y aglomerante Natural	8,395.22 Cal/g	35.149 MJ/Kg	0.001 a 0.0017 MPa
Experimento 2	Cascarilla de Café, Cisco de Arroz, Bagazo de caña y aglomerante Natural	8,568.98 Cal/g	35.876 MJ/Kg	0.001 a 0.0017 MPa
Experimento 3	Bagazo de caña, estiércol de ganado, cascarilla de café y aglomerante natural	6,525.96 Cal/g	27.322 MJ/Kg	0.001 a 0.0017 MPa

Otra investigación realizada en España se fabricaron diferentes briquetas con diferentes materiales el cual arrojaron los siguientes datos basándose principalmente en el poder calorífico que es el parámetro que nos indica si es un bueno o malo combustible (Vera, 2014).

Los datos obtenidos de esa investigación fueron los siguientes como se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Datos obtenidos de las diferentes briquetas realizadas en España

Mezcla de material para brikweta	Poder calorífico en Cal/g	Poder calorífico en MJ/Kg
Cascarilla o cisco de café	4,466 Cal/g	18.7 MJ/Kg.
Bagazo de caño	4,275 Cal/g	17.9 MJ/Kg
Cascarilla de arroz	3,296 Cal/g	13.8 MJ/Kg
Aserrín	3,200 Cal/g	13.4 MJ/kg

Los datos que se recaudaron anteriormente es información de briquetas elaboradas con una prensa manual, la mezcla para su elaboración lleva un aglomerante y su mecanismo es de presión manual.

En lo que se refiere a la comercialización de las briquetas encontramos que una empresa en España llamada Briec (COVAERSA). Covaersa es la primera empresa a nivel mundial en fabricar y patentar briquetas de cáscara de almendra en su factoría de Crevillente (Alicante) España. Las briquetas Briec se diferencian del resto de biomasas de una manera altamente destacada (Briec, 2011).

Las briquetas Briec son bloques sólidos y consistentes compuestos de cáscara de almendra compactada sin aditivo alguno, poseen una alta densidad, sus dimensiones aproximadas de 24 x 8 x 11 cm y tienen un grado muy bajo de humedad (Briec, 2011).

Las ventajas técnicas de esta brikweta:

- Poder calorífico: 5.47 KWh/Kg.
- 1 kg de brikweta equivale a 1.7 kg de madera.
- Bajo nivel de humedad (2% aproximadamente).

Otra empresa llamada CORINAY. Es una empresa en Perú que es pionero en la fabricación de Briquetas en forma industrial con una capacidad instalada de 5 000 toneladas por año.

Como la mayoría de los biocombustibles utilizan aserrín y viruta de madera, fabricado a partir de un proceso de secado y comprimido a alta presión y libre de

adhesivos químicos. Sustituye perfectamente a la leña evitando la deforestación de los bosques.

Características principales de las briquetas de aserrín en esta empresa:

- Es de forma cilíndrica de 90 mm de diámetro x 270 mm de largo y/o en rodajas del mismo diámetro en espesores variados de 12 mm hasta 20 mm.
- Humedad: 14-16%.
- Densidad: 1-190 Kg/m³.
- Poder calorífico: 3,700 cal/Kg aproximadamente.

En base a lo anterior, el proceso de fabricación de briquetas es diverso, adaptable y modificable para su elaboración. Puede seguirse un proceso de fabricación rudimentario o un proceso de fabricación industrializado dependiendo del objetivo trazado. Lo importante es considerar que la briketa elaborada debe reunir las siguientes características como se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Características principales de las briquetas

Característica		Valor
Nombre del producto		Briketa de aserrín
Materia Prima		Aserrín de madera
Humedad		8% - 10%
Poder calorífico		4,500 a 5,000 Kcal/Kg en promedio
Forma		Cilíndrica comúnmente
Dimensiones	Largo	120 mm comúnmente
	Diámetro	60 mm comúnmente
Densidad		1,000 k/m ³
Porcentaje de ceniza		0.5%

En México de acuerdo con un estudio realizado sobre la elaboración de briquetas con residuos maderables de pino, generado en el complejo de San Juan Nuevo Parangaricutiro en el estado de Michoacán, el cual estas briquetas se formaron a tres diferentes temperaturas (60, 80 y 100) centígrados con 30 segundos de prensado a 15 MPa con dimensiones de 82 mm de largo por 32 mm de diámetro. El poder calorífico obtenido estuvo en un rango de 19.12 MJ/Kg a 20.47 MJ/Kg. Ver tabla 3.5 para un mejor entendimiento (Orihuela et al., 2016).

Tabla 3.5. Valores obtenidos de las briquetas realizadas en San Juan Nuevo

Biomasa	Temperatura en (°C)			Presión ejercida
	60 °C	80 °C	100 °C	
Poder Calorífico				15 MPa
Aserradero	19.58 MJ/Kg	19.49 MJ/Kg	19.52 MJ/Kg	
Astilladora	19.04 MJ/Kg	19.12 MJ/Kg	19.21 MJ/Kg	
Taller de Secundario	20.17 MJ/Kg	20.25 MJ/Kg	20.47 MJ/Kg	

Los datos recopilados anteriormente son referencia de briquetas elaboradas con mecanismos industriales a una presión constante que la propia máquina ejerce y que el operador determina, dando como resultado una buena compactación y un poder calorífico aceptable en comparación de las briquetas producidas manualmente.

3.2. IMPORTANCIA DE LA BIOMASA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA EN EL CONTEXTO DE LA SUSTENTABILIDAD

La demanda mundial de energía ha aumentado rápidamente debido al agotamiento de los combustibles fósiles, un claro ejemplo el país de la India ha superado a Japón y Rusia y se ha convertido en el tercer país con el mayor consumo de petróleo en el mundo. Debido a la creciente demanda de combustibles de petróleo y el consiguiente impacto de los problemas del calentamiento global, El desarrollo de energía alternativa es una prioridad en el sector de la investigación y el desarrollo. La bioenergía producida de la biomasa está siendo una fuente de energía alternativa sostenible que ha recibido alta aceptación en sectores públicos, industrias y en políticas gubernamentales. Esta revisión se centra en la bioprospección de la biomasa procedente de recursos orgánicos para la producción de energía no convencional y ser un trampolín del biocombustible para el futuro cercano. Estos residuos orgánicos se pueden convertir en diversas formas de biocombustibles, ya sea de forma directa o indirectamente, a través de procesos químicos.

Sin embargo, el proceso de producción y la transformación química son un proceso costoso Y por lo tanto la oferta comercial de biocombustible a gran escala todavía no es exitosa. Por lo tanto, un sistema económico y eficiente podría ser el proceso

de producción para comercializar biocombustibles a base de biomasa (Gaurava et al., 2017).

El futuro de la producción mundial de biocombustibles dependerá del número de factores interrelacionados y su rentabilidad. El uso de biocombustibles está siendo promovido por muchos gobiernos de todo el mundo, la aplicación de opciones de combustible alternativo es preocupación por satisfacer las futuras demandas petroleras. Es obvio que cada país tendrá que utilizar la biomasa disponible y cultivar productos que sean adecuados para su clima. Con la finalidad de producir Biocombustibles, Hay mucho potencial para el mercado de biocombustibles que ha sido aceptado a nivel mundial y el uso de estos como alternativa a los combustibles fósiles. Aún requiere desarrollo tecnológico para reducir el costo de producción y a su vez reducir la emisión de gases de efecto invernadero para así aumentar la factibilidad. La promoción del biocombustible como combustible alternativo requiere la aceptación mundial para de esta manera trascender hacia una generación de energía limpia y en armonía del medio ambiente. Por lo tanto, para fortalecer la economía mundial, mitigar el cambio climático y mejorar la calidad ambiental se debe difundir y generar la producción sostenible de biocombustibles y así generar un desarrollo sustentable (Gaurava et al., 2017).

3.3. IMPORTANCIA DE LAS BRIQUETAS A NIVEL MUNDIAL Y NACIONAL

El uso de las briquetas a base de aserrín tiene alrededor de 10 años que empezó el auge de esta investigación con el fin de producir biocombustibles sólidos en este caso, briquetas. En el año 2007 se realizó un estudio de mercado en estados unidos esto para determinar qué tan factible y consumible puede ser el uso de este biocombustible sólido.

los estadounidenses utilizaban briquetas a base de carbono, pero este residuo generaba fuertes contaminantes contra el medio ambiente así que por ello una empresa en ese mismo país decidió lanzar al mercado una briqueta con algunas marcas consideradas como “amigables para el medio-ambiente”, o “environment friendly”, como la marca Rainforest Alliance's SmartWood, Las briquetas de esta

marca son 100% de madera de roble, sin carbón mineral ni otros componentes (Chicago, 2007).

Dato importante es que los Estados Unidos tiene una fuerte industria de fabricación de briquetas, principalmente en los estados del sur y del centro del país. Las briquetas vegetales se hacen a partir de la carbonización del aserrín y corteza. La tecnología en la fabricación de carbón vegetal esta tan adelantada, que la producción reduce al mínimo la contaminación del aire y la eliminación de desperdicios y con ello en los últimos 20 años, la tecnología ha permitido que se capturen 95% de las impurezas que antes iban al aire (Chicago, 2007).

Los biocombustibles sólidos en este caso las briquetas están considerado como una fuente de energía alternativa, económica y relativamente fácil de producir, además de sus características naturales: un fuego casi sin humo, duradero y de temperatura elevada.

Un estudio realizado en el año 2005 por el Hearth, Patio & Barbecue Association (HPBA) ha mostrado que más del 81% de los hogares en los Estados Unidos tiene una parrilla a carbón o a gas para cocinar al aire libre. Más del 91% de sus dueños lo han utilizado al menos una vez en el año en cuestión. El mismo estudio agrega que se han vendido más de 15 millones de estos aparatos en el 2005. Además, el 95% de los usuarios de parrilla a carbón o el carbón vegetal, utiliza el carbón en la forma de briquetas, alcanzando el consumo anual en unas 884,000 toneladas, y calculando el volumen de negocio en unos 600 millones de dólares al año. La producción de briquetas de carbón principalmente ha crecido mucho en los estados unidos, además de haber logrado mejorar los procesos de producción, tales como la reducción de emisión de gases al medio ambiente y la mejora continua del producto final (Chicago, 2007).

Según la Agencia Internacional de Energía en su reciente revisión del suministro y uso de energía a nivel global (IEA, 2012). Concluye que las tendencias actuales del consumo de energía basado en fuentes fósiles son económicas. México se tiene el recurso biomásico para producir briquetas tanto de carbón como a base de otros residuos, pero por la falta de tecnología y conocimiento hacen ineficientes, y en

algunos casos generan impactos negativos a la salud y el ambiente REMBIO, (2011). Aun así, la biomasa en general, y la sólida en particular son la mayor fuente de energía en México, debido a sus usos tradicionales que componen el 59.9% de la energía primaria total obtenida de fuentes renovables de energía (SENER, 2014).

3.4. PANORAMA INTERNACIONAL DE LA SUSTENTABILIDAD SOBRE LA BIOMASA Y LAS BRIQUETAS

La fuente más importante de biomasa para energía en México son los bosques y selvas nativos. Para el año 2000 se estimó una existencia total de 2,803 millones de m³ de madera. El potencial productivo sustentable, de acuerdo con (Chapela, 2012) podría ser de 28 millones de m³ por año para fines industriales y otros 28 millones de m³ para usos domésticos y mercados locales, asumiendo un incremento anual disponible para cosecha de 2% del inventario.

Muchos bosques y selvas ya están bajo manejo forestal y cuentan con permisos de aprovechamiento, pero no hay en el mercado oportunidades para el uso de su potencial energético. El aprovechamiento de madera para energía podría estimular la producción forestal para usos industriales mediante la comercialización de residuos y de especies menos valoradas. Por otro lado, la producción de calor y energía eléctrica a partir de la biomasa forestal puede contribuir a la mitigación de CO₂ por hasta 35 Mt anuales (Johnson et al., 2009).

Las opciones para aprovechar sustentablemente la biomasa forestal para bioenergía son el manejo de bosques nativos, el uso de los residuos de industrias forestales, y las plantaciones. La biomasa proveniente de leña, carbón vegetal, briquetas o pellets se puede usar como biocombustible sólido de primera generación (REMBIO, 2011).

La productividad de un bosque bajo manejo forestal sustentable, depende de la reproducción y el crecimiento de los árboles, el clima y el suelo. Los residuos forestales son los derivados del aprovechamiento y la transformación industrial de la madera. Se estima que entre 20 y 60% de la biomasa de los árboles aprovechados y 50% de la madera en rollo que se procesa en los aserraderos son

residuos. En total, el aprovechamiento de la biomasa forestal para energía, tanto a partir de bosques nativos, como plantaciones y residuos de la industria forestal, tiene un potencial estimado de entre 1,923 y 1,135 PJ/ año en nuestro país (García et al., 2015).

En México, actualmente, la biomasa no se aprovecha eficientemente a causa de la falta de mercados (REMBIO, 2011) y por la tendencia a consumir combustibles más baratos, usualmente los derivados de fósiles (SENER, 2013).

En el caso de la biomasa sólida se cuenta con el Programa Nacional de Estufas Rurales, coordinado por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), que ha difundido estufas eficientes de leña en aproximadamente 600,000 hogares rurales.

También existe una propuesta presentada la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) para formular un Programa Nacional de Dendroenergía (Trigenius, 2015) donde se propone desarrollar a corto plazo acciones demostrativas para producir electricidad con residuos forestales en plantas termoeléctricas ubicadas en aserraderos. Pero actualmente no hay políticas o programas específicos para promover el uso de biomasa sólida en la cogeneración de electricidad o su uso limpio y eficiente en los sectores industrial y comercial.

CAPÍTULO 4

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación estará enmarcada dentro de un enfoque cuantitativo ya que se trata de determinar los valores de los parámetros para un briqueteado adecuado de la biomasa residual que en este caso será el residuo maderable, ya que de esto dependerá su posterior uso como combustible ecológicamente limpio a nivel doméstico. Se desarrollará en tres fases disciplinarias, que consisten en un trabajo de campo, trabajo de laboratorio y transferencia de tecnología, los cuales se llevó a cabo en la Comunidad de San Francisco Pichátaro del estado de Michoacán, teniendo como base la producción o desperdicio del aserrín de pino que se genera diariamente. La metodología propuesta para esta investigación se muestra en la figura 4.1. Este esquema metodológico consta de tres etapas de investigación cuyo objetivo es buscar una estrategia de desarrollo tecnológico transferible y replicable para investigaciones de desarrollo ecotecnológico.

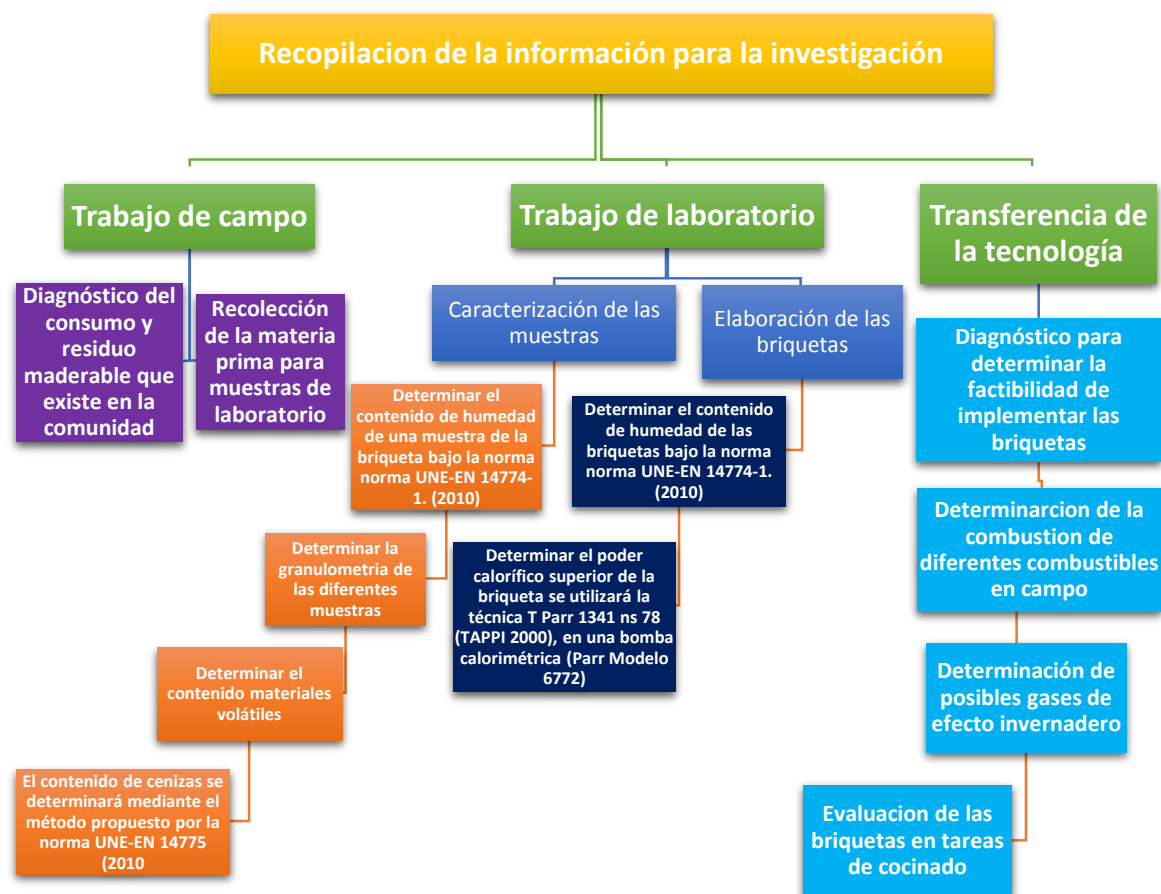


Figura 4.1. Esquema metodológico

4.1. TRABAJO DE CAMPO

De acuerdo con la metodología que se está planteando, la primera etapa consta de un trabajo de campo en el cual se abarcaron las siguientes actividades de recopilación de datos.

Inicialmente se busca identificar necesidades como una estrategia de análisis del problema que se pretende atender, por lo que se ha elegido a la comunidad indígena de San Francisco Pichátaro para ser la comunidad objetivo de esta investigación.

Se han seleccionado de forma aleatoria a 20 artesanos de la comunidad que fabrican muebles de madera y que representan el 30% del total de artesanos que cuentan con un taller de producción familiar. Esta muestra de artesanos ha sido caracterizada en términos de su consumo maderable a través de un instrumento de evaluación ver (ANEXO A).

4.1.1. IDENTIFICACIÓN GEOGRÁFICA Y TERRITORIAL, DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA.



La comunidad de San Fco. Pichátaro, se localiza en el municipio de Tingambato, en el estado de Michoacán, y es parte de la meseta Purépecha. Que significa “lugar de clavos de madera” seguramente porque es una región boscosa de pinos, encinos y madroños entre otros árboles y plantas de todo tipo.

Forma parte de la cuenca del lago de Pátzcuaro. Actualmente es una comunidad indígena cuya máxima autoridad es un consejo comunal por la autonomía que actualmente gobierna en esa comunidad, además de ello cuentan con un representante de bienes comunales el cual se encarga del manejo adecuado del bosque, y de representar a cada comité y en representante de los siete barrios: San Miguel, San Francisco, Santos Reyes, San Bartolo I, San Bartolo II, Santo Tomás I y Santo Tomás II.

La producción artesanal de la comunidad se ha reducido en un 50 % lo cual afecta la estabilidad económica de la región, hace apenas algunos años existían alrededor de 312 talleres, pero hasta ahora sólo permanecen abiertos poco menos de la mitad, por la baja venta y el excesivo precio de la madera.

La madera de pino es la materia prima utilizada para elaborar los muebles rústicos, se abastecen de los bosques de la zona, los cuales se han visto amenazados por la tala inmoderada de personas ajenas a la comunidad acusando a los mismos artesanos.

Esta problemática provocó una escasez en la madera, generando así una inflación del 25%, lo que ha provocado grandes pérdidas económicas. A pesar de todo, la comunidad sigue siendo altamente productora de muebles, por lo cual se realizó un diagnóstico de consumo maderable y de residuos maderables con la finalidad de identificar necesidades, características de la madera, consumo o venta del residuo.

Para obtener el tamaño de la muestra, se han seleccionado de forma aleatoria 20 talleres fabricantes, lo cual representa el 30% del total de artesanos que cuentan con un taller de producción familiar. Para ilustrar esto, en el siguiente apartado se explicará el procedimiento que se realizó con cada artesano de la comunidad objetivo.

4.1.2. EL DIAGNÓSTICO DE CONSUMO MADERABLE Y RESIDUO MADERABLE DISPONIBLE

Se realizó un diagnostico ver (ANEXO A) para determinar los porcentajes de consumo, aprovechamiento de la materia prima y desecho de los residuos maderables en talleres artesanales no industrializados de la comunidad de San Fco. Pichátaro. Para ello, se realizaron visitas domiciliarias a los 20 talleres seleccionados aleatoriamente durante un mes y medio, donde fue necesario caracterizar cada taller en términos de consumo maderable y de residuo maderable.

Para llevar un registro y obtener la información más precisa se aplicó una encuesta de evaluación a cada uno de los propietarios de los talleres tal como se observa en las figuras 4.2 y 4.3.



Figura 4.2. Medición de humedad



Figura 4.3. muestras de madera

Posteriormente se acudió al almacén de cada taller, donde se encontró una variedad de tablas, tablones y vigas, de las cuales se eligieron diez piezas para comenzar la caracterización del consumo maderable.

Para elaborar el análisis de la madera durante el proceso de secado, se tomaron en cuenta los siguientes datos;

1. Humedad relativa.
2. Humedad inicial
3. Fecha inicial de secado
4. Hora de medición.
5. Masa inicial.
6. Tipo de madera.

Ver anexo 1 para identificar como se obtuvieron los datos de consumo y residuo maderable.

Para determinar el residuo maderable se tomó la misma muestra de los 20 artesanos encuestados, con una bolsa para basura (costal) se llenó ese costal con viruta y después con aserrín y con una báscula eléctrica manual se determinó su peso respectivamente, ver (Fig. 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7) esto para determinar cuántos

kilogramos de residuo maderable se genera a la semana en cada taller de los 20 artesanos encuestados.



Figuras 4.4 y 4.5. Llenado de costales con el residuo maderable para determinar la cantidad



Figuras 4.6 y 4.7. Identificación de los talleres con mayor generación de residuos maderables

En las imágenes anteriores se muestra cómo se estuvo visitando cada uno de los 20 talleres esto con la finalidad de determinar cuánto residuo maderable tanto de viruta como de aserrín se genera en la comunidad.

4.1.3. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS PARA REALIZAR LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

En este apartado se eligieron 5 talleres aleatoriamente de los 20 artesanos encuestados, esto con la finalidad de tomar 5 muestras de viruta y 5 muestras de aserrín ver (Fig. 4.8, 4.9) de esos talleres tal y como marca la metodología propuesta para esta investigación.

Primero se llenaron en bolsas aserrín y viruta y se pesó cuanto era la cantidad que se tenía en esas bolsas como se puede ver en la figura 4.10 y 4.11.



Figura 4.8. Recolección de las muestras de viruta



Figura 4.9. Recolección de las muestras de aserrín



Figura 4.10. Determinando el peso de cada residuo maderable aserrín y viruta

Cada muestra tuvo un peso determinado los cuales se muestran en la tabla 4.1

Tabla 4.1. Recolección de las muestras para su caracterización en gramos

Caracterización del peso de la muestra		
Número de muestra	Aserrín (g)	Viruta (g)
Muestra 1	2,635	205
Muestra 2	2,945	265
Muestra 3	3,425	375
Muestra 4	2,205	295
Muestra 5	3,105	215



Figura 4.11. Muestras de aserrín y viruta en kilogramos

Posteriormente a estas muestras se les tomó una segunda muestra estas serán para caracterizarse en el laboratorio los datos obtenidos de las muestras en peso son las que se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Separación de la primera muestra a una segunda muestra para su respectiva caracterización en laboratorio

Caracterización del peso de la segunda muestra		
Número de muestra	Aserrín (g)	Viruta (g)
Muestra 1	275	105
Muestra 2	225	145
Muestra 3	280	145
Muestra 4	240	050
Muestra 5	135	145



Figura 4.12. Muestra 1



Figura 4.13. Muestra 2



Figura 4.14. Muestra 3



Figura 4.15. Muestra 4



Figura 4.16. Muestra 5



Figura 4.17. Vista de todas las muestras

Nota: Estas segundas muestras son con la finalidad de realizar pruebas en laboratorio que se indican en el apartado 4.3.

Para el diseño y la construcción de la máquina briqueteadora manual, se dio seguimiento a una metodología del diseño sostenible y realizado en un programa de diseño llamado solidworks®.

4.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA PRODUCIR BRIQUETAS

Para el dimensionamiento y elaboración de la máquina briqueteadora manual, se realizó mediante un software de computadora de diseño llamado solidworks®. (programasfullfree corporation, 2013).

Los problemas ambientales que se presentan en el mundo desde hace ya muchos años son resultado de la pobreza y de patrones no sustentables de producción y consumo. Ante estos problemas, con el tiempo han surgido soluciones de diseño las cuales buscan preservar y cooperar con el medio ambiente.

El diseño sostenible (también conocido como diseño sustentable) es el diseño que busca satisfacer las necesidades del usuario, así como las necesidades del medio ambiente. Su meta es cambiar el enfoque de la sociedad industrial, para que el eje principal sea la conservación del medio ambiente y no la producción y el consumo. El diseño sostenible toma en cuenta 3 aspectos:

1. Ambiental: evalúa los impactos que un diseño tiene en el medio ambiente durante su ciclo de vida, y así contribuir a la mejora y preservación de dicho ambiente local y global.
2. Social: diseños que más allá de ser productos, puedan convertirse en proyectos de desarrollo para la mejora de las comunidades en donde está siendo implementado. Algunas de estas mejoras pueden ser empleos, fuentes de ingresos y crecimiento personal, entre otras. El diseño sostenible también está ligado con el aspecto social ya que, si el ambiente se ve afectado, las personas que habitan en él, también, ya que los daños al ambiente ocurren principalmente por la actividad humana.
3. Económico: proyectos a desarrollar son rentables, creando así proyectos y productos accesibles, los cuales brindaran mejoras económicas a largo plazo para las personas que los adquieren.

Además, el diseño sostenible minimiza el uso de materiales con bajo porcentaje de reúso o reciclaje, como se observa en los siguientes tres puntos:

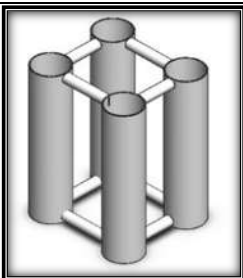
1. Reduce la cantidad de componentes que forman un producto.
2. Aumenta la vida útil del producto.
3. Utiliza materias primas renovables y degradables.

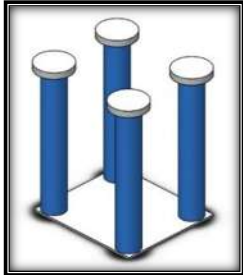
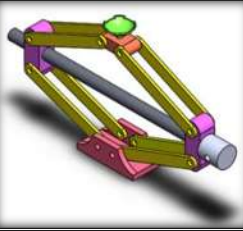
No toda intervención humana produce una degradación ambiental, ya que el ser humano no puede dejar de intervenir y modificar dicho ambiente, ya que es parte del ciclo de vida humano, animal y vegetal. Al crear diseños sostenibles para cubrir necesidades básicas, el término sostenible no solo se estará refiriendo a un correcto manejo de recursos, sino también a la preservación de la vida.

4.2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS REALIZADOS EN EL DISEÑO

Los componentes diseñados que constituyen a la máquina briqueteadora se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Listado de las piezas diseñadas

PIEZA	DESCRIPCIÓN
	Base de la máquina briqueteadora donde van colocados los demás elementos.
	Molde donde se coloca la materia prima para generar las briquetas.

	Eje que sirve para hacer recorrer la materia prima en el molde hasta generar la briqueta.
	Tapa que retiene la presión ejercida por el gato.
	Gato mecánico el cual ejerce la presión para conformar las briquetas.

Nota: en la tabla anterior se muestra cada una de las piezas dibujadas para ensamblar la máquina briqueteadora, se encuentran la base, el gato mecánico, la tapa, entre otros elementos.

Cada una de estas piezas diseñadas es ensamblada en el mismo programa hasta obtener el diseño final como se muestra en la figura 4.18.

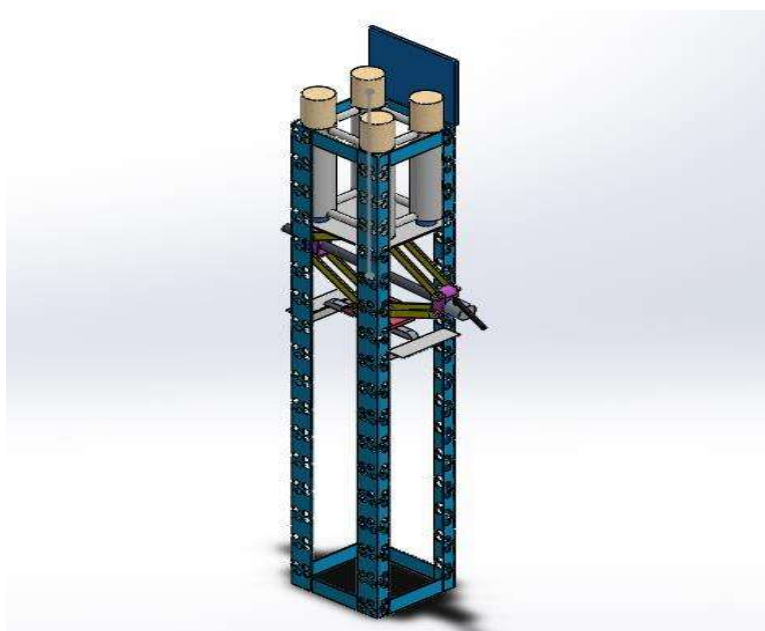


Figura 4.18. Ensamblaje completo

Nota: El plano del ensamblaje completo de la máquina briqueteadora manual se encuentra en el (ANEXO G)

Una vez realizado el diseño de este prototipo, sólo resta llevarlo a la realidad este diseño. Para lo cual la elaboración de la máquina se siguió los siguientes pasos:

Paso 1 se buscaron los materiales adecuados y más baratos y en algunas piezas se reutilizó material que fue donado por un taller en desuso. Esto con tal de abaratar los costos y seguir la metodología del diseño sostenible, las piezas que se utilizaron para la construcción son las que se mencionaron en la anterior tabla 4.3.

Paso 2 una vez obtenido todos los materiales se empezó a dimensionar, cortar y soldar con electrodos E-6013 punta naranja la más comercial y la más barata para formar cada una de las piezas, lo primero que se realizó fue la base de metal con perfil en ángulo que soportara y equilibrara las demás piezas como se muestra en las figuras 4.19.



Figura 4.19. Construcción de la base

Paso 3 se construyeron los moldes donde será colocada la materia prima esto con tubo de acero de 2 ¾ pulgadas y se soldaron a la base como se muestra en las figuras 4.20.



Figura 4.20. Construcción de los moldes y añadidos a la base

Paso 4 se construyó el riel que servirá como empuje entre el gato mecánico y el molde para ejercer la compresión y así dar forma y crear las briquetas.

Lo primero fue cortar y escuadrar la placa de metal donde fueron colocados los cuatro ejes como se observa en la figura 4.21.



Figura 4.21. cortar y escuadrar la placa de acero

Posteriormente se colocaron los cuatro tubos de 1 pulgada de diámetro con 40 cm de longitud para conformar los ejes junto con unas placas de acero galvanizado tanto en la parte inferior como en la parte superior como se muestra en la figura 4.22.



Figura 4.22. Proceso de construcción del eje la parte vital de la máquina briqueteadora

Paso 5 una vez construido el eje este se montó a la base hasta embonar o que quedara colocados en los moldes, y a la vez el eje quedara colocado junto con el gato mecánico como se muestra en la figura 4.23.



Figura 4.23. Colocación del eje y el gato mecánico

Paso 6 fue colocar la tapa en la parte superior de la base que es donde se generará la mayor fuerza a la hora de comprimir y así obtener las briquetas.



Figura 4.24. Colocación de la tapa en la base de la máquina para hacer la compresión de las briquetas

Paso 7 por último una vez construidas y colocadas cada una de las piezas en su lugar se procedió a pintar el dispositivo con la finalidad de que este se vea estético como se muestran en las figuras 4.25.



Figura 4.25. Entintado y acabado de la máquina briqueteadora

Una vez terminado todo el proceso de construcción se da por finalizado la elaboración de la maquina briqueteadora manual, tal y como se muestra en la figura 4.26.



Figura 4.26. Vista de la máquina briqueteadora manual terminada

4.3. TRABAJO DE LABORATORIO PARA CARACTERIZACIÓN DE LAS BRIQUETAS

En términos generales las briquetas se clasifican para uso industrial y para uso no industrial, el uso de las briquetas es muy amplio, la limitación de la briqueta dependerá de la materia prima y la tecnología para la fabricación. Entre los usos no industriales se encuentran como medio de calefacción y para la preparación de alimentos en hogares campesinos o rurales, al obtener la producción de las briquetas se le deben tomar ciertos parámetros como contenido de humedad, poder calorífico contenido de cenizas esto con el fin de determinar qué tan bueno es el biocombustible que se produjo (Carrillo, 2016).

Cuando se realice la elaboración las briquetas se procederá a llevar muestras de cada una de las briquetas que se elaboren al laboratorio, con la finalidad de realizar diferentes pruebas con diferentes equipos electrónicos que permitan analizar y determinar las características fisicoquímicas tales como:

4.3.1. EL CONTENIDO DE HUMEDAD

La humedad es el porcentaje de agua presente en un cuerpo o materia; puede determinarse en base seca o en base húmeda y representa una característica importante para cualquier análisis a realizarse sobre un material sólido.

La Norma (UNE EN 14774-1, 2010) establece el método de ensayo mediante el secado en estufa. En él se somete a la muestra a una temperatura de 105°C hasta que la masa se mantenga constante. Según la precisión buscada se aplican una serie de correcciones por fenómenos como la flotabilidad, consistente en la pérdida de peso por el aumento de temperatura del material ver (Fig. 4.27).



Figuras 4.27. A) Muestras a analizar B) Peso de un gramo de la muestra y colarlo en la caja de Petri C) Colocación de las muestras en la estufa de secado hasta peso constante D) Muestras colocadas en el desecador.

Esta característica es muy importante debido a que el poder calorífico de cualquier biocombustible forestal disminuye al aumentar la humedad del mismo. Para determinar el contenido de humedad se expresa con la siguiente fórmula según: (Correa et al., 2014).

$$CH = \left(\frac{\text{Peso}_{\text{humedo}} - \text{Peso}_{\text{seco}}}{P_{\text{seco}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Dónde:

CH = Contenido de humedad (%)

P_h = Peso húmedo de la briqueta (kg)

P_s = Peso seco de la briqueta (kg)

En ambos casos se realizó 3 muestras diferentes y se calculó el promedio como resultado final.

4.3.2. GRANULOMETRÍA

En esta etapa para la realización de la prueba de granulometría, se utilizaron muestras de aserrín y viruta que con anterioridad se habían obtenido del diagnóstico de la comunidad de Pichátaro. La distribución de la granulometría se determina siguiendo la norma (UNE-EN 15149-1,2011) empleando para ello un tamiz vibrante como se muestra en la figura 4.28



Figura 4.28. Tamiz vibrante

Para este caso se detalló una serie de tamices de malla metálica de especificaciones y tamaños normalizados como los que se muestra en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Número de malla establecido para la prueba

Malla/número de tamiz
3.35 mm
2.80 mm
2.00 mm
1.40 mm
0.50 mm
0.25 mm
Finos mm

Posteriormente normalizado el tamiz se escogió una muestra representativa de biomasa en este caso aserrín y viruta con una cantidad de 50 g se colocó en el tamiz vibrante durante 3 minutos y a cada muestra se le realizó 3 repeticiones, cada

muestra fue cayendo por cada uno de los tamices de la maquina hasta obtener diferentes partículas de granos que se almacenaron en bolsas de papel como se muestra en la figura 4.29.



Figura 4.29. Muestras obtenidas de diferentes granos con la ayuda del tamiz vibrante

Al haber sido 3 repeticiones de cada muestra en total se obtuvieron 30 muestras 15 de aserrín y 15 de viruta, posteriormente a cada una de las muestras se pesaron en una báscula de precisión digital esta para determinar el peso de cada muestra y obtener el porcentaje de la granulometría como se muestra en la figura 4.30.



Figura 4.30. Medición del peso de cada una de las muestras en una bascula

El peso de cada una de las muestras se puede observar en el (ANEXO B)

4.3.3. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZAS DEL RESIDUO MADERABLE

Es para determinar el grado de cenizas que cada una de las briquetas produce en el proceso de combustión, indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material.

El contenido de cenizas queda determinado mediante el procedimiento expuesto en la norma (UNE - EN 14775, 2010). Este trata de calentar una muestra del biocombustible en aire bajo condiciones estrictamente controladas de tiempo y peso a una temperatura controlada de 550°C aproximadamente. Con ello se produce una

pérdida de masa en la muestra a partir de la cual se contabiliza el contenido de cenizas.

El procedimiento que se siguió para obtener los respectivos resultados se muestran en la figura 4.31.

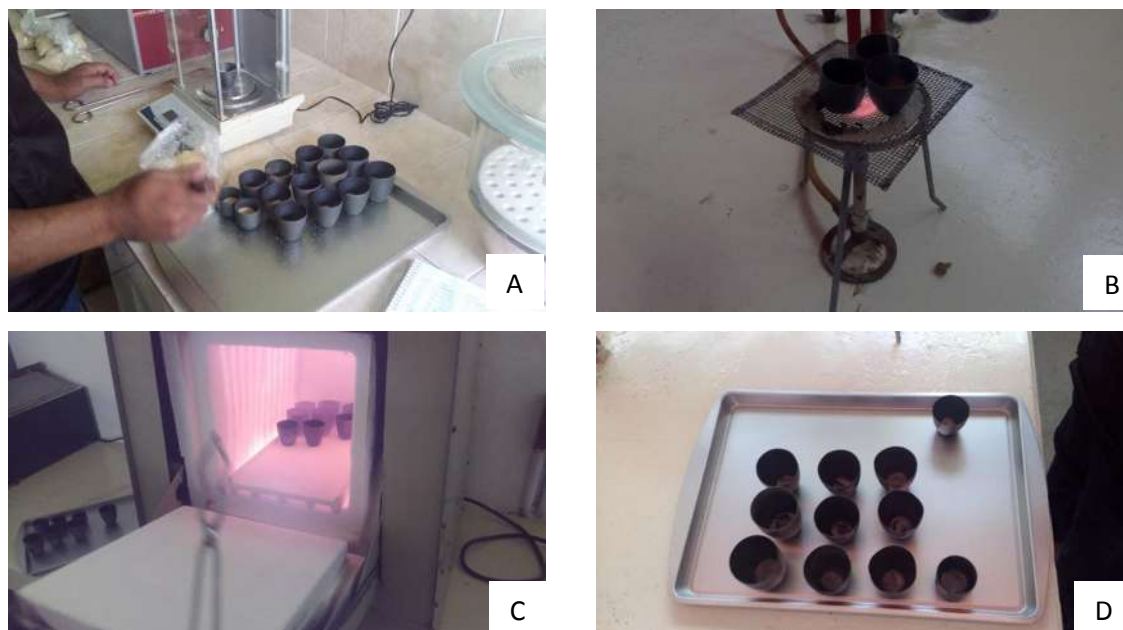


Figura 4.31. A) Colocación de las muestras en los crisoles. B) Cremación de las muestras. C) Calcinación de las muestras en la mufla. D) Obtención de las muestras con las cenizas.

Para determinar el contenido de cenizas se expresa con la siguiente formula según: (Vega-Nieva & Ortiz, 2013).

$$A = \left(\frac{Wr \text{ del residuo de la muestra}}{Wm \text{ de la muestra}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Dónde:

A = Contenido de Cenizas (%)

Wr = Peso del residuo de la muestra (kg)

Wm = Peso seco de la briqueta (kg)

En ambos casos se realizó 3 muestras diferentes y se calculó el promedio como resultado final.

4.3.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIALES VOLÁTILES

Para la determinación de la cantidad de materias volátiles se realizó el siguiente procedimiento de acuerdo a la norma (UNE-EN 15148, 2010) ver (Fig. 4.32). El

proceso se realizó para tres muestras de cada biomasa, dando como resultado 15 muestras de aserrín y 15 muestras de viruta.

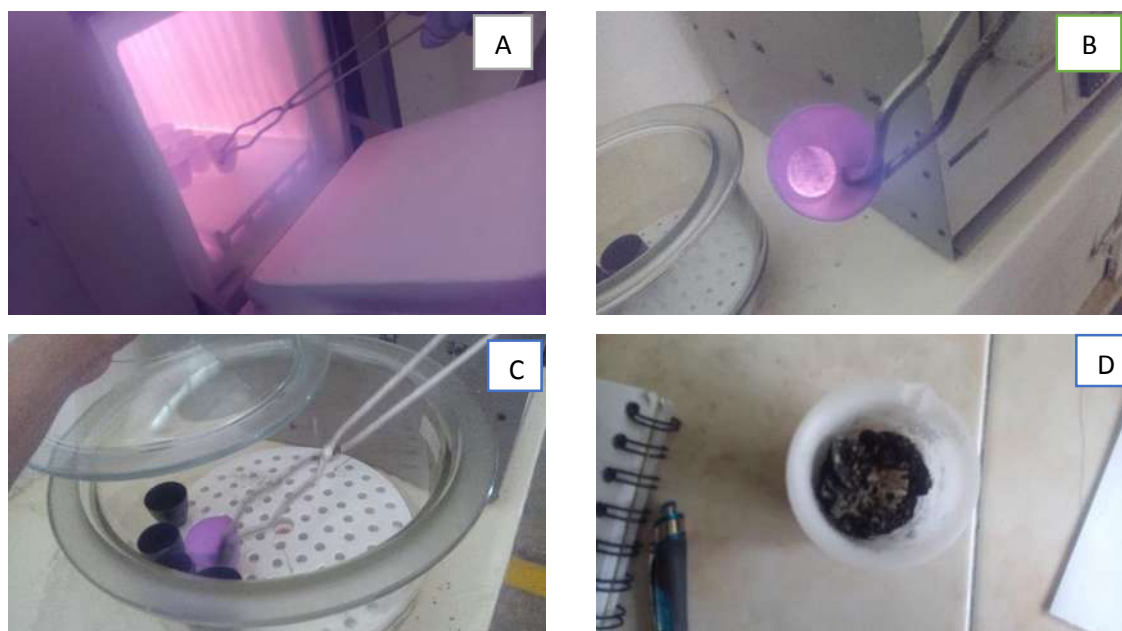


Figura 4.32. A) colocación del crisol con la muestra en la mufla B) Crisol con la muestra fuera de la mufla C) Colocación del crisol en el desecador D) Obtención de los materiales volátiles de las 15 muestras.

El contenido de materiales volátiles se realizó con la siguiente ecuación:

$$MV = \frac{m_2 - m_3}{m} \times 100 \quad (3)$$

Dónde:

MV = Contenido de materiales volátiles en %,

M2 = masa inicial del crisol + muestra, en g.

M3 = masa final del crisol + muestra, en g

M = masa de la muestra en g

El nivel de precisión en la determinación de los porcentajes de materiales volátiles no debe diferir uno de otro en más de 2%. Para esta prueba se utilizó tres muestras de cada residuo.

4.3.5. DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente se refiere a la masa del material por unidad de volumen. Junto, al poder calorífico y la densidad aparente determinan la densidad de energía

que es, la energía potencial disponible por unidad de volumen de la biomasa. En general, las densidades de energía de la biomasa son aproximadamente un décimo de los combustibles fósiles tales como el petróleo o carbón de alta calidad.

Para la determinación de la densidad aparente se siguió la norma (UNE-EN15103, 2010).

El mismo procedimiento se realizó para la muestra de viruta, como se observa en la figura 4.33.



Figura 4.33. Determinación del peso de la muestra de residuo maderable

Para determinar la densidad aparente se aplicó la siguiente fórmula:

$$D = \frac{m}{v} \quad (4)$$

Donde:

D= Densidad aparente

M= masa

V= Volumen

4.3.6. PODER CALORÍFICO SUPERIOR

Es la característica fundamental de un combustible expresa la energía liberada durante la combustión completa. Altos poderes caloríficos indican buenos combustibles y bajos poderes caloríficos señalan malos combustibles. Para determinar el poder calorífico se expresa con la siguiente formula según Antwi-Boasiako & Acheampong (2015).

$$H = \frac{M_s C v_s \Delta T - e_1 - e_2}{M_c} \quad (5)$$

$$e_2 = m \cdot h$$

Dónde:

H= Es el poder calorífico del combustible.

MS= Es la masa de la bomba calorimétrica, sus accesorios y el agua utilizada (masa del sistema).

C_{vs} = Es el calor específico promedio de la bomba calorimétrica, sus accesorios y el agua utilizada (calor específico del sistema).

ΔT = Es el cambio de temperatura registrado durante la experiencia.

e_1 = Es la corrección por el calor que libera la formación de ácidos de nitrógeno y azufre (puede despreciarse en esta experiencia).

e_2 = Es la corrección por el calor generado por la combustión del filamento de ignición.

M= Es la masa o longitud del filamento de ignición.

H= Es el poder calorífico del filamento por unidad de masa o longitud.

M_c = Es la masa de combustible.

Para realizar este análisis experimental se utilizó un equipo denominado bomba calorimétrica que es un recipiente adiabático que contiene en su interior la bomba de combustión y agua. Además, también dispone de un agitador, un termómetro y el cableado necesario para la ignición de la muestra. La figura 4.34 el inciso a) muestra una representación de una bomba calorimétrica y el inciso b) muestra la bomba calorimétrica utilizada para esta investigación.

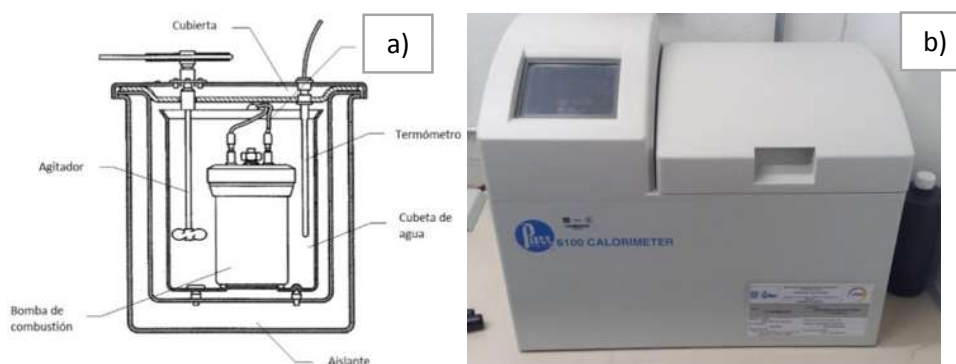


Figura 4.34. Calorímetro

4.4. PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LAS BRIQUETAS

En esta etapa se realizaron diferentes pruebas de briquetas para determinar los componentes que contienen y el mejor método para obtener la briketa más consistente y eficiente, y cómo se comporta el material que se utilizó como materia prima para la realización de las briquetas.

Para ello se sigue la siguiente secuencia como se muestra a en la figura 4.35



Figura 4.35. Procedimiento para la fabricación de las briquetas

En esta etapa se realizaron distintas pruebas es decir se crearon diferentes briquetas con diferentes mezclas y combinaciones hasta obtener un parámetro de referencia, donde se obtuvo la mezcla ideal para la creación de una briqueta idónea para su respectiva producción.

El proceso para realizar briquetas de forma manual fue el siguiente:

1. Reunir los materiales que componen las briquetas. Este material puede ser aserrín, viruta o una combinación de ambos se decidió por estos materiales ya que esta biomasa abunda en la comunidad objetivo ver (Fig. 4.36).



Figura 4.36. Recolección de la biomasa o materia prima para las briquetas

2. Una vez recolectado el residuo maderable se mezclaron con agua además de otros aglomerantes, hasta conseguir un material pastoso ver (Fig. 4.37)



Figura 4.37. Mezcla de los materiales agua, aserrín o viruta y fécula de maíz

3. Posteriormente se introdujo el material en el molde ver (Fig. 4.38). Para este molde se diseñó y construyó una máquina briqueteadora manual, la cual les dio una forma cilíndrica a las briquetas.



Figura 4.38. Introducción de la mezcla a la maquina briqueteadora manual

4. Después se pesó el material dentro del molde, hasta comprimirlo lo mejor posible como se muestra en la figura 4.39



Figura 4.39. Compresión de la mezcla lo más fuerte posible

5. Por último, se extrae el material ya con forma del molde, y se dejó secar bajo el sol como se muestra en la figura 4.40.



Figura 4.40. Izquierda briquetas obtenidas del molde, derecha briquetas expuestas al sol para su secado.

Posteriormente se inició con la producción de las briquetas como se muestra en la figura 4.41 para sus posteriores análisis como marcan las normas estandarizadas.



Figura 4.41. Imágenes de las diferentes briquetas realizadas con diferentes mezclas

A continuación, se presenta una tabla que muestra imágenes de las pruebas realizadas, con las características y métodos utilizados en cada briketa. Cada muestra se repitió en 3 ocasiones para determinar que fuera la misma consistencia y corroborar que las briquetas tuvieran correlación una con otra.

Para ello en cada briketa se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

1. Mezcla/Material: se utilizaron diferentes tipos de aserrín y viruta, así como diferentes tipos de materiales agregados a los dos residuos maderables.
2. Forma de la briqueta: se realizaron briquetas en forma cilíndrica conforme al diseño de la máquina, y cilíndrica con agujero en el medio.
3. Método utilizado para aplicar presión a la materia: para aplicar presión al material se utilizaron una pistola de pegamento industrial, un sargento y una prensa de banco.
4. Tiempo de secado (secado al sol): se colocaron briquetas bajo el sol hasta que se consideraron secas.

4.4.1. DENSIDAD DE LAS BRIQUETAS

La principal característica de las briquetas frente a otro combustible es que son más densas que estas, con lo que facilitan el transporte, manipulación y almacenaje. 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. El objetivo final de los procesos de briqueteado es siempre lo mismo: obtener un producto final de mayor densidad que los productos iniciales.

Los factores que influyen en la densidad de la briqueta son de dos tipos:

1. La materia prima empleada. Cuanto mayor sea la densidad de la materia prima mayor será la densidad del producto final.
2. La presión ejercida por la prensa en el proceso de fabricación. Las presiones de compactación son variables, dependiendo de la maquinaria empleada, a mayor presión, mayor densidad lograda en el producto final.

Para la determinación de la densidad, se procede de la siguiente manera:

a) Cálculo del Volumen de la Briqueta

El volumen de la briqueta es el de un cilindro, el cual es el producto del área de la base "Ab" por la altura del cilindro "h"

El volumen de un cilindro de base circular, es:

$$V = \pi r^2 \times h \quad (6)$$

Dónde:

V= volumen

π = Constante

r= radio de la base

h = altura de la briqueta

Luego se pesa la briqueta y se calcula la densidad dividiendo el peso sobre el volumen calculado, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{P}{V} \quad (7)$$

Donde:

ρ = densidad de la briqueta (kilogramos por metro cúbico)

m = masa de la briqueta (kilogramo)

V = volumen de la briqueta (metros cúbicos)

4.4.2. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS BRIQUETAS

La humedad de la briqueta es una característica que está en función del proceso de secado que sigue el residuo de maderable, es uno de los elementos más importantes que se debe de determinar porque de ello depende que el biocombustible tenga un excelente poder calorífico. La humedad de las briquetas se determinó bajo la Norma UNE-EN 14774 donde se aplica la siguiente ecuación.

$$CH = \left(\frac{Peso_{humedo} - Peso_{seco}}{P_{seco}} \right) \times 100 \quad (8)$$

Donde

CH= Contenido de humedad de la muestra.

P. inicial= Peso húmedo.

P. seco= Peso final después de 4 horas. en estufa a 105°C.

4.4.3. MEDICIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PRODUCIDO POR LAS BRIQUETAS

El Sistema Portátil de Medición de Emisiones (PEMS, por sus siglas en inglés), desarrollado por el Centro de Investigaciones Aprovecho, Oregon, USA, se utiliza para determinar la contribución de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM_{2.5}) (PEMS, 2012).

La metodología utilizada en este estudio, se ha basado principalmente en la prueba estándar WBT (Water Boiling Test), que consta de tres fases: una primera fase, llamada *inicio frío*, en la que una cantidad de agua dada es calentada desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de ebullición local. Una segunda fase, *inicio caliente*, en la que se trata de calentar la misma cantidad de agua renovada, partiendo con la estufa aún caliente de la fase anterior y llegando de nuevo al punto de ebullición local. Finalmente, la última fase, denominada *simmering*, consta de mantener la cantidad de agua resultante de la anterior fase a una temperatura inferior a la de ebullición, manteniendo una baja potencia para ello (WBT, 2014; Ruiz-García, 2018).

Tras las pruebas WBT, los pesos del carbón y las cenizas, así como del combustible no utilizado, han sido registrados con el objetivo de determinar el poder calorífico. Para el registro de las emisiones se han utilizado varios equipos: un cromatógrafo de gases para analizar las cantidades de metano y el PEMS (Portable Emissions Measurement System) para registrar emisiones de CO, CO₂ y material particulado (PM_{2,5}) en tiempo real. Filtros de fibra de vidrio de 4 pulgadas han sido utilizados en un análisis de gravimetría para determinar la cantidad de material particulado (PM_{2,5}). Dichos filtros han sido pesados y mantenidos en un área con temperatura y humedad controlada, por lo tanto, tras utilizarlos en el WBT se ha podido determinar la cantidad de material particulado únicamente al pesarlos y calcular la diferencia. Las emisiones de CO y CO₂, se determina aplicando el método NDIR utilizando luz infrarroja de frecuencia fija para caracterizar las concentraciones de cada gas.

Emisiones totales de CO y PM_{2,5}: la emisión total de un contaminante representa la cantidad emitida durante un determinado periodo de tiempo de uso de un dispositivo eficiente o del TSF. En este caso para estimar la emisión de CO y PM_{2,5}, expresada en gramos totales durante cada fase de la prueba WBT, se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Emisión total de CO} = \left(\frac{C_{\text{CO}}}{C_{\text{CO}_2} + C_{\text{CO}} + C_{\text{PM}_{2,5}}} * \text{carbono de entrada (g (c))} \right)$$

$$\begin{aligned}
 & * \frac{1 \text{ mol de CO}}{12 \text{ g de C}} * \frac{28 \text{ g de CO}}{1 \text{ mol de CO}} \\
 \text{Emisión total de PM}_{2.5} = & \left(\frac{C_{\text{PM}_{2.5}}}{C_{\text{CO}_2} + C_{\text{CO}} + C_{\text{PM}_{2.5}}} * \text{carbono de entrada (g (c))} \right) \quad (9)
 \end{aligned}$$

Relación de emisiones de CO: expresa la relación de productos de la combustión incompleta por kg de CO₂ producido durante la combustión de la leña. Dicho parámetro se calcula mediante el número de moles del contaminante y el número de moles de CO₂ emitidos y convertido a porcentaje multiplicando esta relación por 100 (MacCarty et al., 2008). En este caso para calcular la emisión de CO expresada en g(c) por kg(c) de CO₂ se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Relación de emisiones de CO} = \frac{\text{g(c)CO}}{\text{kg(c)CO}_2} \quad (10)$$

Factores de emisión: (EF, por sus siglas en inglés) para un contaminante se definen como la masa del contaminante emitido por la masa de combustible consumido en la IWS (Zhang & Smith, 1999). En este caso se utilizó la siguiente ecuación general para el cálculo de los EF de CO y PM_{2.5}:

$$\text{Factores de emisión} = \frac{\text{g(c)contaminante}}{\text{kg combustible seco}} \quad (11)$$

Potencia de cocción (P): es la relación de la energía consumida de la leña por estufa por unidad de tiempo, matemáticamente se expresa:

$$P = \frac{f_d \times \text{LHV}}{60(t_f - t_i)} \quad (12)$$

Donde f_d es el consumo equivalente de leña durante cada fase de la prueba, LHV es el poder calorífico inferior y $(t_f - t_i)$ es la duración de cada fase en la prueba WBT.

Consumo específico de combustible (SFC): es la relación de combustible consumido para la cantidad de agua en cada una de las fases de la prueba WBT, matemáticamente se define por la ecuación:

$$\text{SFC} = \frac{f_d}{W_{wf}} \quad (13)$$

Donde W_{wf} es la masa de agua hervida.

Tiempo de ebullición: es el tiempo cuando la olla principal (conteniendo los 5 L de agua) alcanza el punto de ebullición local durante las fases de alta potencia. En la fase de fuego lento, el agua se cocina a fuego lento durante 45 minutos (Medina, 2017).

4.4.4. EVALUACIÓN TERMOGRÁFICA DE LAS BRIQUETAS REALIZADAS

Las briquetas utilizadas para la evaluación termográfica se han elaborado a partir de residuos de pino (*Pinus spp*) obtenidos de los talleres artesanales de madera de la comunidad San Francisco Pichátaro, en el estado de Michoacán. En este análisis se determinó la combustión de las briquetas en comparación de la leña convencional, cabe mencionar que en la comunidad existen dos tipos de combustibles derivados del bosque para diferentes actividades esos combustibles son: la leña de pino y la leña de encino. Para realizar esta evaluación se construyó tres cámaras de aislamiento térmico similares a los fogones tradicionales que las personas utilizan para realizar sus diferentes actividades domésticas. Posteriormente se estabilizó cada material, es decir, 1 kilogramo de cada combustible junto con una humedad establecida del 10 al 12 %. Además, para tener un parámetro de referencia se utilizó un litro de agua por cada combustible todo esto se puede observar en la figura 4.42.

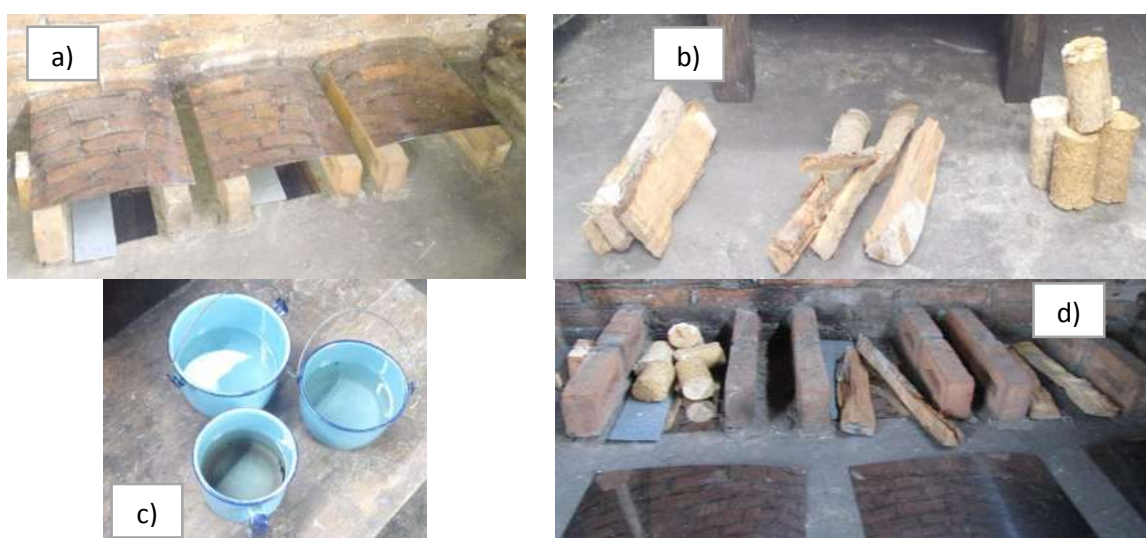


Figura 4.42. a) Tres cámaras de aislamiento térmico, b) Tres tipos de combustibles diferentes incluyendo las briquetas, c) Tres recipientes con 1 litro de agua cada uno, d) colocación de los diferentes combustibles en cada una de las cámaras térmicas

En el estudio experimental del proceso de combustión se emplearon los equipos e instrumentos siguientes: 1 termómetro, 1 cronómetro, 2 recipientes con agua, 2 fogones, 1 encendedor y una cámara termográfica. Las pruebas del proceso de combustión se realizaron en un ambiente donde existía flujo de aire controlado (velocidad < 1 m/s), lo contrario perturbaría el encendido de la briqueta e impediría el aprovechamiento eficiente del flujo de calor por convección libre hacia los recipientes con agua. Se colocó 1 kilogramo de cada material en el fogón a un contenido de humedad máximo del 12%. Como se pudo observar en el inciso d) de la figura 5.15. Posteriormente se colocó en la placa de acero inoxidable los recipientes con agua, así mismo para encender cada combustible se utilizó un pedazo de madera resinosa, con un peso aproximado de 80 gramos con una longitud de 10 cm esto como si fuese un aditivo para que los combustibles empezaran a combustionar como se puede observar en la figura 4.43.



Figura 4.43 Combustión de los tres diferentes combustibles a) Briqueta, b) Leña de pino, c) Leña de encino

4.5. TRANSFERENCIA DE LA TECNOLOGÍA

La transferencia de la tecnología es la última etapa de esta investigación, la finalidad de esta etapa es difundir y demostrar que el desarrollo y/o producción de briquetas es una alternativa de biocombustible para las diferentes actividades que esta comunidad realiza, que pueda ser una tecnología apropiada, eficiente, amigable con el medio ambiente y que puede ser controlada por la comunidad, basándose en la utilización de recursos locales para su fabricación y para obtención de materia prima, además promueve el uso de fuentes naturales de energía. Ya que la tecnología apropiada se considera una tecnología de tipo mecánico, suele

aprovechar energías naturales como la energía solar, eólica y la biomasa, además del poco o cero impactos negativos en el ambiente, ya que no lo contamina ni destruye. Para llevar a cabo esta transferencia se realizó en tres fases como se muestra en la figura 4.44.

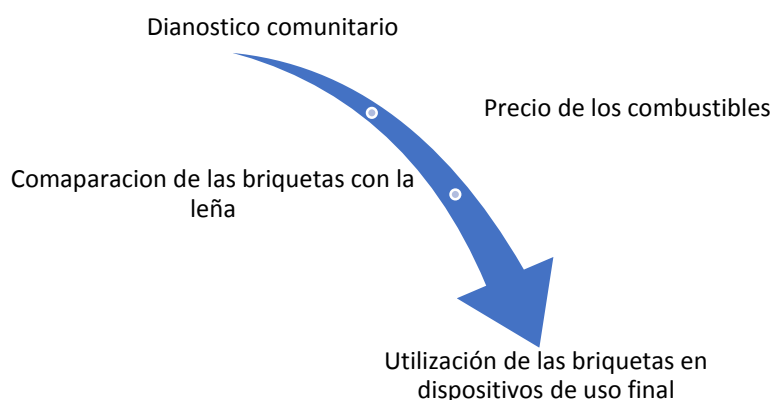


Figura 4.44. Proceso a seguir para la transferencia de la tecnología

4.6. EVALUACIÓN DE LAS BRIQUETAS PRODUCIDAS Y UTILIZADAS EN DISPOSITIVOS DE USO FINAL.

De acuerdo a la transferencia de la tecnología, en esta etapa consiste en evaluar las briquetas producidas en dispositivos de uso final, que puedan aprovechar el poder calorífico que estas emiten y determinar qué tan factible térmicamente hablando, pueden ayudar al calentamiento de una determinada tarea.

Uno de los dispositivos utilizados para valorar las briquetas fue el dispositivo denominado Patsari la cual consiste en una cámara de combustión que soporta el comal principal de 52 cm de diámetro. Las dimensiones exteriores de la estufa son: 80 cm de ancho por 100 cm de longitud, con una altura de 27 cm como se muestra en la figura 4.45 (Berrueta et al., 2008).



Figura 4.45. Estufa Patsari (Medina, 2017)

La prueba de cocinado controlado (CCT) está diseñada para evaluar el desempeño en general de las estufas eficientes de leña (IWS, por sus siglas en inglés) respecto a las estufas tradicionales mediante ‘simulaciones’ de las tareas de cocinado tradicional como los que se realizan en los hogares de las comunidades rurales de la región de estudio además de controlar algunas variables tales como las características del combustible, las ollas para cocinar los alimentos y la cantidad de alimentos que se van a preparar.

La prueba CCT se utiliza para determinar diversos parámetros de rendimiento mediante la preparación de alimentos típicos de una región en específico. La importancia de esta prueba radica en que mediante los indicadores CCT se puede obtener el desempeño real en un entorno de uso controlado de las estufas mejoradas y del dispositivo tradicional. El protocolo CCT permite:

1. Comparar la cantidad de combustible utilizado por diferentes modelos de estufas para la cocción de un alimento tradicional.
2. Comparar el tiempo necesario para cocinar una tarea de cocina típica.
3. Evaluar la tasa de emisiones durante toda la prueba CCT.

Para la Prueba CCT. Se evaluó en la estufa Patsari para ello se utilizó en promedio 3 kg de masa para producir tortillas, las pruebas CCT se realizaron en una cocina simulada en la comunidad de San Fco. Pichátaro, Michoacán, México. Para estas pruebas de CCT se tuvo apoyo de una cocinera de la misma comunidad quien cocino las tortillas utilizando la técnica cotidiana para cocinar en su hogar. El tipo de

combustible que se utilizó fue las briquetas producidas para esta investigación en promedio 2 Kg cuyas dimensiones son 10 cm de longitud en promedio 3.6 y de diámetro 7.2 cm se utilizó una báscula digital para cuantificar las mediciones de combustible. Además, se utilizó 80g de ocote (resina de pino) como iniciador del fuego en la estufa. El promedio del contenido de humedad en el combustible fue de $12 \pm 1\%$ (Rango de 10-14%). El procedimiento de cocinado de las tortillas se describe en la figura 4.46.



Figura 4.46. a) Peso del iniciador, b) Briquetas (combustible), c) Masa para las tortillas, d) utilización de la patsari y elaboración de las tortillas, e) Briquetas combustionadas en la Patsari, f) Calcinación de las briquetas.

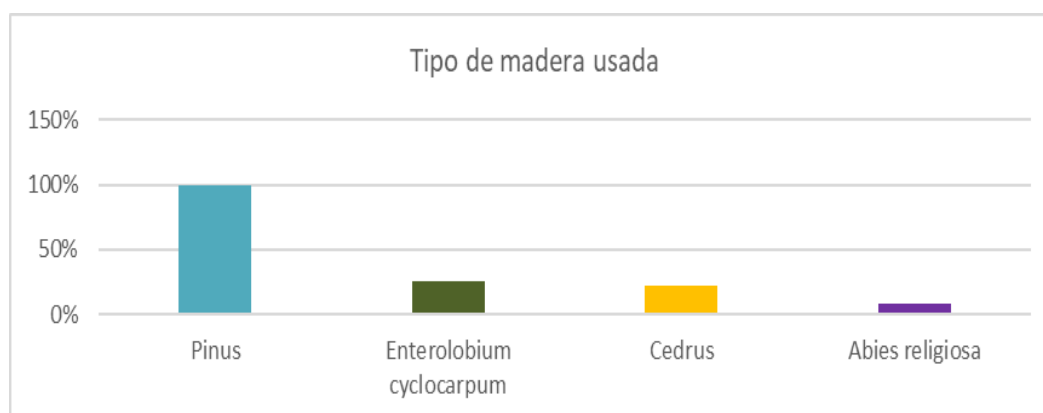
CAPÍTULO 5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

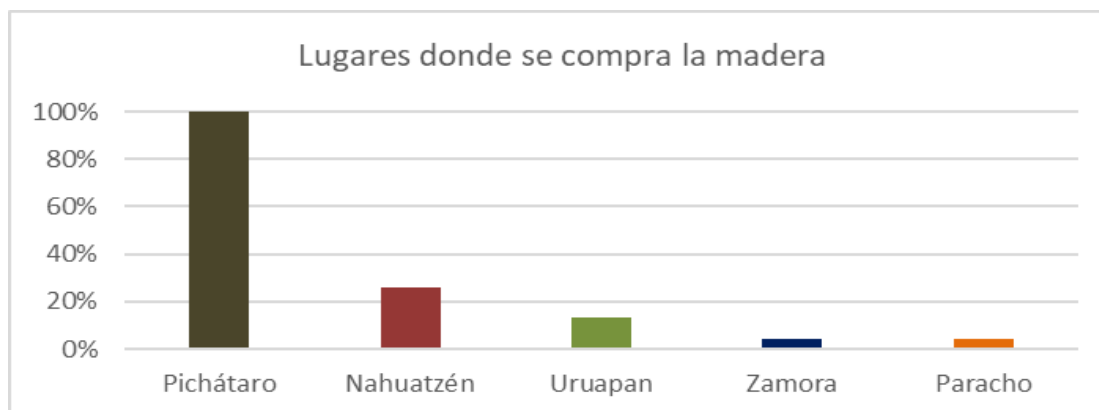
Recapitulando de acuerdo a la metodología planteada para esta investigación, consta de tres etapas la primera fue un trabajo de campo, en el cual se realizó un diagnóstico comunitario para conocer en promedio cuanto residuo maderable (viruta y aserrín) se puede obtener en la comunidad.

5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS CUALITATIVOS DEL DIAGNÓSTICO DEL RESIDUO MADERABLE

Los datos obtenidos en el diagnóstico de acuerdo a la metodología propuesta en esta investigación y a la primera etapa que es el trabajo de campo; muestran que la especie más utiliza para obtener el recurso maderable es el *Pinus spp.* Así mismo la madera utilizada es derivada de los propios bosques de la comunidad, por lo cual se demuestra que el residuo maderable para la producción de briquetas es originario de la misma comunidad. Dichos resultados mencionados anteriormente se muestran en la gráfica 5.1 y 5.2.



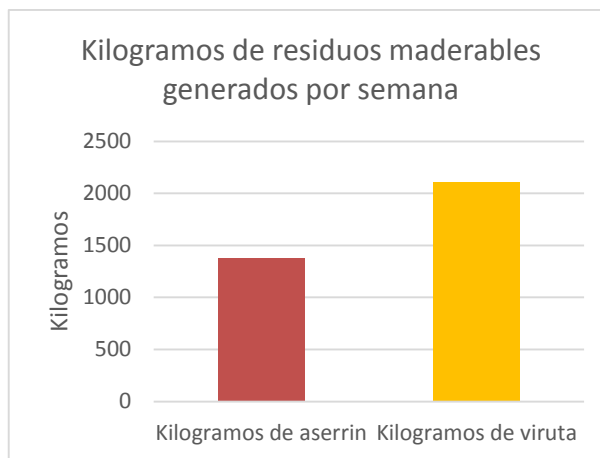
Gráfica 5.1. Tipo de madera con mayor frecuencia usada



Gráfica 5.2. Lugar donde se compra la madera

Por último, otro de los datos recopilados en esta caracterización, fue el de conocer cuántos kilogramos de residuo maderable por semana se genera con mayor frecuencia en la comunidad como se muestra en la gráfica 5.3 Se determinó en kilogramos cuanto desperdicio de aserrín y viruta principalmente se genera en esta comunidad, los datos obtenidos fueron los siguientes:

Kilogramos de residuo maderable generados por semana	
Aserrín	Viruta
1,376 Kg	2,110 Kg
Kilogramos de residuo maderable generados por mes	
Aserrín	Viruta
5,507 Kg	8,441 Kg

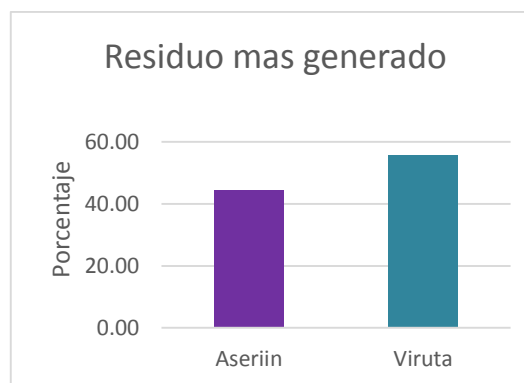


Gráfica 5.3. Comparación de la generación en Kilogramos de residuos maderables por semana

La gráfica 5.3 muestra que el residuo maderable con mayor frecuencia generado en la comunidad es la denominada viruta, con 2,110 Kg generados por semana.

Así mismo se determinó en porcentaje que residuo maderable es más generado en la comunidad como se muestra en la gráfica 5.4.

Residuo más generado en la comunidad	
Aserrín	Viruta
44.44 %	55.56 %

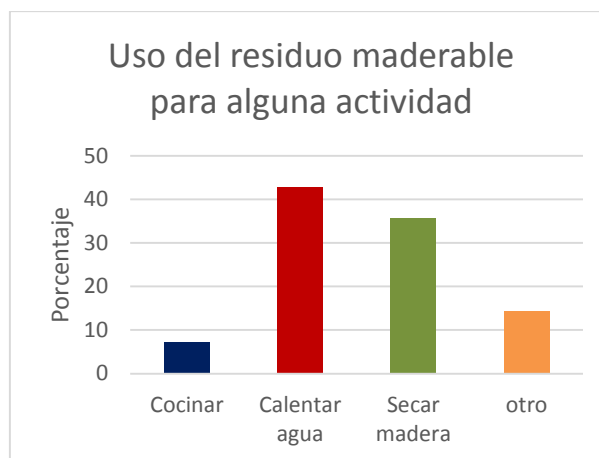


Gráfica 5.4. Residuo maderable más generado en la comunidad

Como se muestra en la gráfica 5.4 el residuo más generado en la comunidad es la viruta con un 56 %. Dentro de este diagnóstico también se obtuvieron los siguientes datos de acuerdo con la formulación de una pregunta donde se caracterizó si al

residuo maderable le daban algún uso el cual los datos obtenidos fueron los siguientes.

Uso que se le da al residuo maderable ya sea aserrín o viruta			
Cocinar	Calentar agua	Secar madera	Otro
7.1%	42.8%	35.7%	14.2%
Número de personas que contestaron la utilización del residuo maderable			
1	6	5	2



Gráfica 5.5. Uso que se le da al residuo maderable para alguna determinada actividad

De las opciones anteriores la opción de otro, algunas personas coincidieron que el otro uso que le dan al residuo maderable es para barrer el piso.

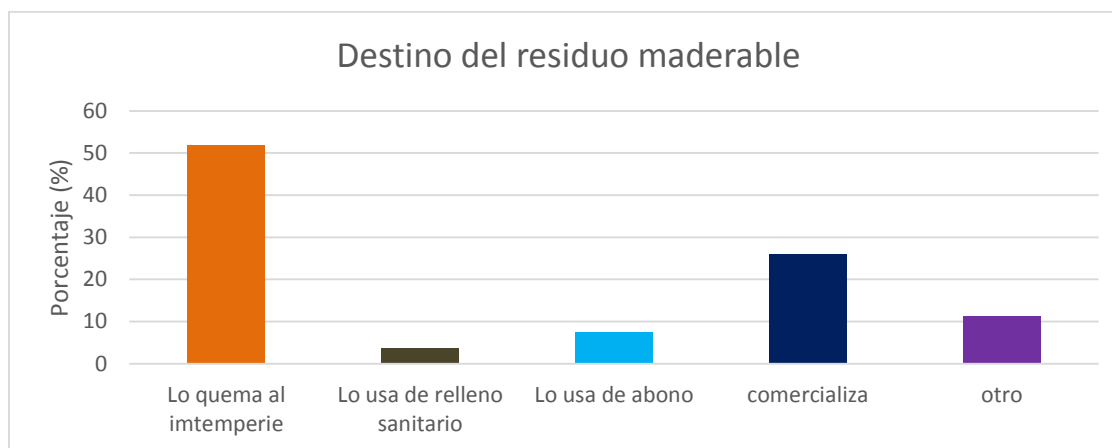
Como se muestra en la gráfica 5.5 el uso que las personas encuestadas le da a la viruta en la comunidad es para calentar agua con un 42.8 %.

En la misma caracterización para demostrar que no se le da ningún uso al residuo maderable que se genera en esta comunidad se formuló una pregunta donde se cuestionó si al residuo maderable que proceso o destino le dan a este residuo el cual se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 5.1. Destino del residuo maderable

Destino del residuo maderable				
Lo quema a la intemperie	Lo usa de relleno sanitario	Lo usa de abono	comercializa	Otro
51.8%	3.7%	7.4%	25.9%	11.1%
Número de personas que contestaron que destino le dan a su residuo maderable				
14	1	2	7	3

Nota: El instrumento de evaluación utilizado para obtener los resultados obtenidos anteriormente del diagnóstico comunitario se pueden observar en el ANEXO A.



Gráfica 5.6. Destino final que tiene el residuo maderable

Como se puede observar en la gráfica 5.6 del 100% de los encuestados el 51% mencionó que al residuo maderable ya sea viruta o aserrín el destino final que tiene este residuo es quemarlo a la intemperie, seguido por la comercialización con un 25% pero solo comercializa la viruta seguido por otros usos como utilizarlo para barrer el patio.

Siguiendo la metodología para esta investigación se realizó los análisis termogravimétricos con la finalidad de conocer si las propiedades fisicoquímicas de las muestras de biomasa cumplen con los estándares para producir biocombustibles en este caso briquetas.

5.1.1. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL RESIDUO MADERABLE

Éste análisis adquiere una gran importancia debido a la influencia de la humedad en aspectos como el aprovechamiento energético (a mayor humedad menor aprovechamiento), la densidad aparente (la humedad es un peso añadido sin valor energético), el aumento del consumo de energía en los pretratamientos de la biomasa o la disminución de la calidad del combustible favoreciendo la aparición de hongos, bacterias, entre otros agentes.

En la tabla 5.2, se muestran los resultados obtenidos del contenido de humedad para cada una de las muestras de aserrín y viruta. Para ello se realizó un análisis de varianza para determinar la diferencia estadística, así como una la aplicación de la prueba de rangos múltiples, a 95% de confianza estadística.

Tabla 5.2. Determinación del contenido de humedad de las muestras de viruta

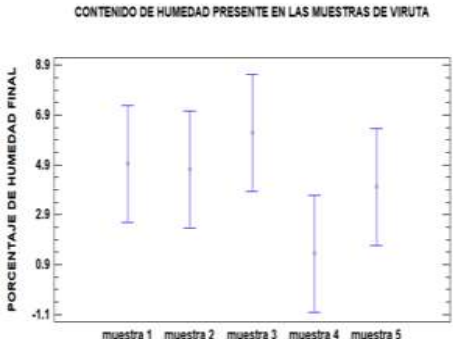
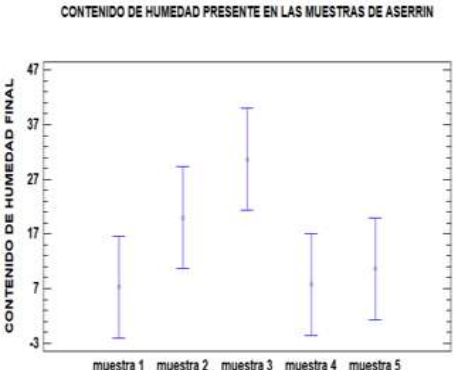
MUESTRAS DE VIRUTA	PRUEBAS DE RANGO MÚLTIPLE				DESCRIPCIÓN
	Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos	Los resultados muestra la diferencia entre humedades de cada una de las muestras analizadas encontrando que la humedad máxima se ubica en la muestra 3 con un 6.19 % de humedad constante.
	4	3	1.33	A	
	5	3	4.02	AB	
	2	3	4.72	AB	
	1	3	4.94	AB	
	3	3	6.19	B	

Tabla 5.3. Determinación del contenido de humedad de las muestras de aserrín.

MUESTRAS DE ASERRÍN	PRUEBAS DE RANGO MÚLTIPLE				DESCRIPCIÓN
	Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos	Los datos anteriores muestran la diferencia entre humedades de cada una de las muestras analizadas encontrando que la humedad máxima se ubica en la muestra 3 con un 30.67 % de humedad constante.
	1	3	7.2748	A	
	4	3	7.77196	A	
	5	3	10.6528	A	
	2	3	19.9708	AB	
	3	3	30.6733	B	

Nota: las pruebas de humedad de las muestras de las tablas 5.2 y 5.3 se repitieron en 3 ocasiones para corroborar que los datos fueran los más parecidos posibles y tener un rango de error mínimo.

La humedad inicial que tenían las muestras tanto de viruta como de aserrín al ser recolectados y caracterizados varió de 6.19% a 30.67%, encontrándose diferencia estadística como se observó en la muestra número 3 de la tabla 5.3 el valor encontrado es cercano al reportado por (Correa et al., 2014) para aserrín es de 36.8 a 51.1%, y para viruta es de 53.7%, por lo cual las muestras analizadas demuestran que tienen un menor contenido de humedad en comparación de las reportadas por Correa et al., (2014) para maderas del género *Pinus*. Por lo que no se requiere someterlos a un proceso exhaustivo de secado para lograr la humedad adecuada.

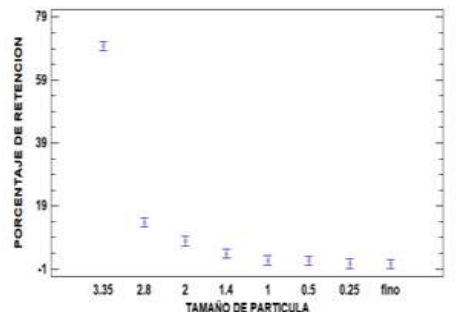
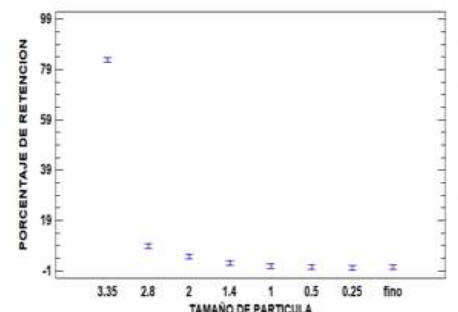
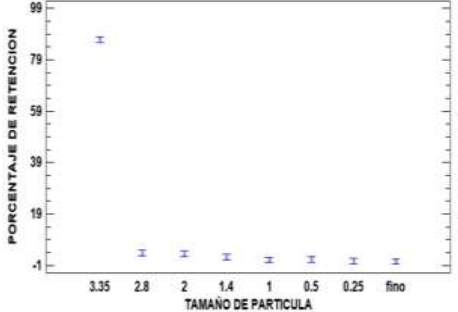
En otros resultados de muestras de maderas *latifoliadas* como es el Encino, las muestras analizadas al ser recolectados de fue de 43.3% y para maderas de *Alnus* fue de 51.6% los valores reportados por Orihuela et al., (2016) las muestras descritas necesitan un proceso de secado para lograr una humedad adecuada para la elaboración de biocombustibles sólidos, por lo tanto, las muestras de viruta y aserrín analizadas para esta investigación tiene un menor humedad que las reportadas descritas anteriormente el cual pueden ser utilizadas para la elaboración de materiales densificados.

5.1.2. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA

El resultado sobre la granulometría del material procedente de la comunidad de Pichátaro, se determinó la muestra a 5 diferentes tipos de viruta procedentes de diferentes talleres de la misma comunidad, los resultados de la granulometría de la viruta se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Resultados de la granulometría derivada de la muestra de viruta

MUESTRAS DE VIRUTA	PRUEBAS DE RANGO MÚLTIPLE				DESCRIPCIÓN
MUESTRA DE LA VIRUTA 1	Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos	Los datos señalan en general que la mayor proporción de los residuos maderables en este caso viruta se encuentra en el tamiz de 3.5 mm con un 64.1% encontrando diferencias estadísticas entre los demás tamaños.
	fino	3	0.80	A	
	0.25	3	1.02	A	
	1	3	3.35	A	
	0.5	3	3.37	A	
	1.4	3	7.09	B	
	2	3	9.53	BC	
	2.8	3	10.67	C	
MUESTRA DE LA VIRUTA 2	Num. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos	Los datos señalan en general que la mayor proporción de los residuos maderables en este caso viruta se encuentra en el tamiz de 3.5 mm con un 64.07% encontrando diferencias estadísticas entre los demás tamaños.
	fino	3	1.18	A	
	0.25	3	1.63	A	
	1	3	3.15	A	
	0.5	3	3.64	A	
	1.4	3	6.66	B	
	2.8	3	9.35	C	
	2	3	10.28	C	
	3.35	3	64.0754	D	

MUESTRA DE LA VIRUTA 3 	<table><tr><th>Núm. Malla</th><th>Casos</th><th>Media</th><th>Grupos Homogéneos</th></tr><tr><td>fino</td><td>3</td><td>0.60</td><td>A</td></tr><tr><td>0.25</td><td>3</td><td>0.72</td><td>A</td></tr><tr><td>0.5</td><td>3</td><td>1.64</td><td>AB</td></tr><tr><td>1</td><td>3</td><td>1.66</td><td>AB</td></tr><tr><td>1.4</td><td>3</td><td>3.84</td><td>B</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>7.90</td><td>C</td></tr><tr><td>2.8</td><td>3</td><td>13.80</td><td>D</td></tr><tr><td>3.35</td><td>3</td><td>69.79</td><td>E</td></tr></table>	Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos	fino	3	0.60	A	0.25	3	0.72	A	0.5	3	1.64	AB	1	3	1.66	AB	1.4	3	3.84	B	2	3	7.90	C	2.8	3	13.80	D	3.35	3	69.79	E	Los datos señalan en general que la mayor proporción de los residuos maderables en este caso viruta se encuentra en el tamiz de 3.5 mm con un 69.79 % encontrando diferencias estadísticas entre los demás tamaños.
Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos																																			
fino	3	0.60	A																																			
0.25	3	0.72	A																																			
0.5	3	1.64	AB																																			
1	3	1.66	AB																																			
1.4	3	3.84	B																																			
2	3	7.90	C																																			
2.8	3	13.80	D																																			
3.35	3	69.79	E																																			
MUESTRA DE LA VIRUTA 4 	<table><tr><th>Núm. Malla</th><th>Casos</th><th>Media</th><th>Grupos Homogéneos</th></tr><tr><td>0.25</td><td>3</td><td>0.20</td><td>A</td></tr><tr><td>fino</td><td>3</td><td>0.38</td><td>A</td></tr><tr><td>0.5</td><td>3</td><td>0.58</td><td>A</td></tr><tr><td>1</td><td>3</td><td>0.75</td><td>A</td></tr><tr><td>1.4</td><td>3</td><td>2.04</td><td>A</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>4.54</td><td>B</td></tr><tr><td>2.8</td><td>3</td><td>8.70</td><td>C</td></tr><tr><td>3.35</td><td>3</td><td>82.77</td><td>D</td></tr></table>	Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos	0.25	3	0.20	A	fino	3	0.38	A	0.5	3	0.58	A	1	3	0.75	A	1.4	3	2.04	A	2	3	4.54	B	2.8	3	8.70	C	3.35	3	82.77	D	Los datos anteriores señalan en general que la mayor proporción de los residuos maderables en este caso viruta se encuentra en el tamiz de 3.5 mm con un 82.77 % encontrando diferencias estadísticas entre los demás tamaños.
Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos																																			
0.25	3	0.20	A																																			
fino	3	0.38	A																																			
0.5	3	0.58	A																																			
1	3	0.75	A																																			
1.4	3	2.04	A																																			
2	3	4.54	B																																			
2.8	3	8.70	C																																			
3.35	3	82.77	D																																			
MUESTRA DE LA VIRUTA 5 	<table><tr><th>Núm. Malla</th><th>Casos</th><th>Media</th><th>Grupos Homogéneos</th></tr><tr><td>fino</td><td>3</td><td>0.49</td><td>A</td></tr><tr><td>0.25</td><td>3</td><td>0.64</td><td>A</td></tr><tr><td>1</td><td>3</td><td>1.15</td><td>A</td></tr><tr><td>0.5</td><td>3</td><td>1.30</td><td>A</td></tr><tr><td>1.4</td><td>3</td><td>2.22</td><td>AB</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>3.50</td><td>B</td></tr><tr><td>2.8</td><td>3</td><td>3.83</td><td>B</td></tr><tr><td>3.35</td><td>3</td><td>86.83</td><td>C</td></tr></table>	Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos	fino	3	0.49	A	0.25	3	0.64	A	1	3	1.15	A	0.5	3	1.30	A	1.4	3	2.22	AB	2	3	3.50	B	2.8	3	3.83	B	3.35	3	86.83	C	Los datos anteriores señalan en general que la mayor proporción de los residuos maderables en este caso viruta se encuentra en el tamiz de 3.5 mm con un 86.83 % encontrando diferencias estadísticas entre los demás tamaños.
Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos																																			
fino	3	0.49	A																																			
0.25	3	0.64	A																																			
1	3	1.15	A																																			
0.5	3	1.30	A																																			
1.4	3	2.22	AB																																			
2	3	3.50	B																																			
2.8	3	3.83	B																																			
3.35	3	86.83	C																																			

Nota: Los datos obtenidos de la granulometría de las muestras del residuo denominado viruta de la tabla 5.4 se repitieron en 3 ocasiones para corroborar que los datos fueran los más parecidos posibles y tener un rango de error mínimo.

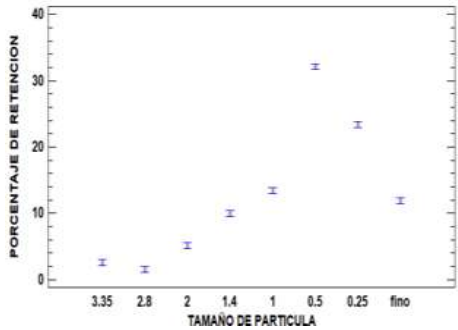
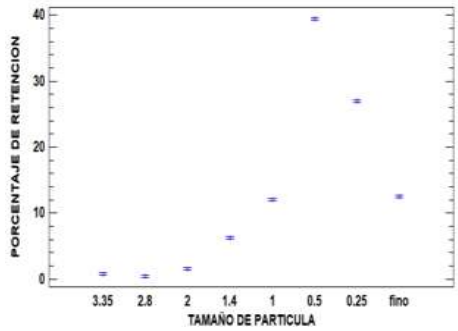
Los resultados para el caso de la granulometría de la muestra de viruta se encuentran en promedio de 64.1% a 86.3%, ubicados en la malla número 3.35 mm los tamaños porcentuales de partícula son parecidos a los reportados por Correa et al., (2014) con un 75.8% y por Orihuela et al., (2016) el cual encontró valores del 76.9%, en el cual el material no se requiere una exhaustiva trituración para lo cual

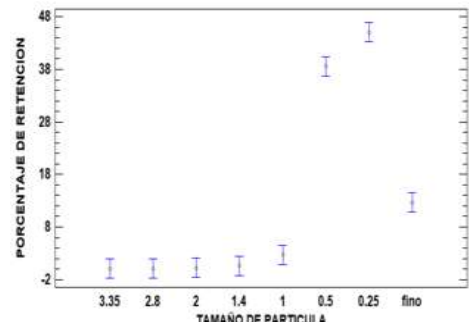
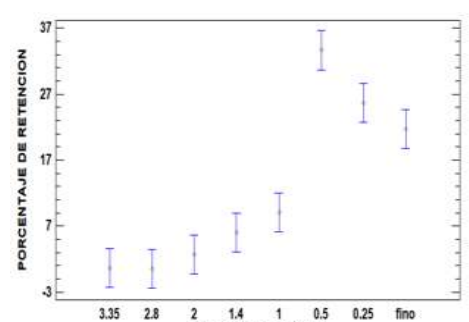
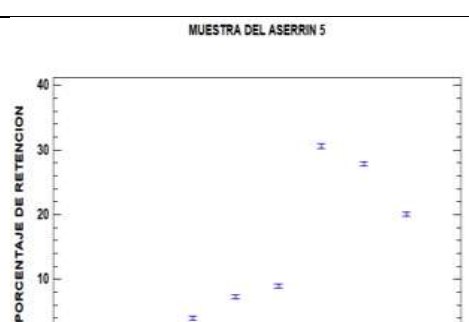
no se requiere una trituración para obtener el tamaño de partícula para la elaboración de briquetas.

Los materiales adecuados para la fabricación de las briquetas se encuentran entre 0.5 mm a 2.00 mm el cual pueden ser utilizados para la fabricación de briquetas ya que se encuentran en promedio de 13.7% a 35.9% el porcentaje de g tamaño de partícula corresponden a los reportados por Ortiz et al., (2003) en donde encontró valores en ese mismo número de mallas con un porcentaje de 26.9% para maderas de *Pinus*.

Para el análisis de los datos de las muestras de aserrín se determinó la muestra a 5 diferentes tipos de aserrín procedentes de diferentes talleres de la misma comunidad, los resultados se muestran en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Resultados de la granulometría derivada de la muestra de aserrín.

MUESTRAS DE ASERRÍN	PRUEBAS DE RANGO MÚLTIPLE	DESCRIPCIÓN																																				
MUESTRA DEL ASERRIN 1 	<table><tr><th>Núm. Malla</th><th>Casos</th><th>Media</th><th>Grupos Homogéneos</th></tr><tr><td>2.8</td><td>3</td><td>1.54</td><td>A</td></tr><tr><td>3.35</td><td>3</td><td>2.56</td><td>B</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>5.12</td><td>C</td></tr><tr><td>1.4</td><td>3</td><td>9.95</td><td>D</td></tr><tr><td>fino</td><td>3</td><td>11.88</td><td>E</td></tr><tr><td>1</td><td>3</td><td>13.38</td><td>F</td></tr><tr><td>0.25</td><td>3</td><td>23.42</td><td>G</td></tr><tr><td>0.5</td><td>3</td><td>32.12</td><td>H</td></tr></table>	Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos	2.8	3	1.54	A	3.35	3	2.56	B	2	3	5.12	C	1.4	3	9.95	D	fino	3	11.88	E	1	3	13.38	F	0.25	3	23.42	G	0.5	3	32.12	H	Los datos señalan que la mayor proporción de los residuos maderables de aserrín se encuentra en el tamiz de 0.5 mm y 0.25 con un 32.12 % y un 23.42 % respectivamente encontrando diferencias estadísticas entre los demás tamaños.
Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos																																			
2.8	3	1.54	A																																			
3.35	3	2.56	B																																			
2	3	5.12	C																																			
1.4	3	9.95	D																																			
fino	3	11.88	E																																			
1	3	13.38	F																																			
0.25	3	23.42	G																																			
0.5	3	32.12	H																																			
MUESTRA DEL ASERRIN 2 	<table><tr><th>Núm. Malla</th><th>Casos</th><th>Media</th><th>Grupos Homogéneos</th></tr><tr><td>2.8</td><td>3</td><td>0.43</td><td>A</td></tr><tr><td>3.35</td><td>3</td><td>0.73</td><td>A</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>1.54</td><td>B</td></tr><tr><td>1.4</td><td>3</td><td>6.27</td><td>C</td></tr><tr><td>1</td><td>3</td><td>12.06</td><td>D</td></tr><tr><td>fino</td><td>3</td><td>12.49</td><td>E</td></tr><tr><td>0.25</td><td>3</td><td>27.01</td><td>F</td></tr><tr><td>0.5</td><td>3</td><td>39.42</td><td>G</td></tr></table>	Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos	2.8	3	0.43	A	3.35	3	0.73	A	2	3	1.54	B	1.4	3	6.27	C	1	3	12.06	D	fino	3	12.49	E	0.25	3	27.01	F	0.5	3	39.42	G	Los datos anteriores señalan que la mayor proporción de los residuos maderables se encuentra en el tamiz de 0.5 mm y 0.25 con un 39.42 % y un 27.01 % respectivamente encontrando diferencias estadísticas entre los demás tamaños.
Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos																																			
2.8	3	0.43	A																																			
3.35	3	0.73	A																																			
2	3	1.54	B																																			
1.4	3	6.27	C																																			
1	3	12.06	D																																			
fino	3	12.49	E																																			
0.25	3	27.01	F																																			
0.5	3	39.42	G																																			

MUESTRA DEL ASERRIN 3 	<table><tr><th>Núm. Malla</th><th>Casos</th><th>Media</th><th>Grupos Homogéneos</th></tr><tr><td>2.8</td><td>3</td><td>0.06</td><td>A</td></tr><tr><td>3.35</td><td>3</td><td>0.08</td><td>A</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>0.21</td><td>A</td></tr><tr><td>1.4</td><td>3</td><td>0.61</td><td>A</td></tr><tr><td>1</td><td>3</td><td>2.68</td><td>A</td></tr><tr><td>fino</td><td>3</td><td>12.67</td><td>B</td></tr><tr><td>0.5</td><td>3</td><td>38.56</td><td>C</td></tr><tr><td>0.25</td><td>3</td><td>45.09</td><td>D</td></tr></table>	Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos	2.8	3	0.06	A	3.35	3	0.08	A	2	3	0.21	A	1.4	3	0.61	A	1	3	2.68	A	fino	3	12.67	B	0.5	3	38.56	C	0.25	3	45.09	D	Los datos anteriores señalan que la mayor proporción de los residuos maderables se encuentra en el tamiz de 0.5 mm y 0.25 con un 38.56 % y un 45.09 % respectivamente encontrando diferencias estadísticas entre los demás tamaños.
Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos																																			
2.8	3	0.06	A																																			
3.35	3	0.08	A																																			
2	3	0.21	A																																			
1.4	3	0.61	A																																			
1	3	2.68	A																																			
fino	3	12.67	B																																			
0.5	3	38.56	C																																			
0.25	3	45.09	D																																			
MUESTRA DEL ASERRIN 4 	<table><tr><th>Núm. Malla</th><th>Casos</th><th>Media</th><th>Grupos Homogéneos</th></tr><tr><td>2.8</td><td>3</td><td>0.48</td><td>A</td></tr><tr><td>3.35</td><td>3</td><td>0.67</td><td>A</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>2.67</td><td>A</td></tr><tr><td>1.4</td><td>3</td><td>6.01</td><td>AB</td></tr><tr><td>1</td><td>3</td><td>9.13</td><td>B</td></tr><tr><td>fino</td><td>3</td><td>21.68</td><td>C</td></tr><tr><td>0.25</td><td>3</td><td>25.64</td><td>C</td></tr><tr><td>0.5</td><td>3</td><td>33.66</td><td>D</td></tr></table>	Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos	2.8	3	0.48	A	3.35	3	0.67	A	2	3	2.67	A	1.4	3	6.01	AB	1	3	9.13	B	fino	3	21.68	C	0.25	3	25.64	C	0.5	3	33.66	D	Los datos anteriores señalan que la mayor proporción de los residuos maderables en este caso aserrín se encuentra en el tamiz de 0.5 mm, 0.25 y fino con un 33.66 %, 25.64 % y un 21.68 % respectivamente encontrando diferencias estadísticas entre los demás tamaños
Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos																																			
2.8	3	0.48	A																																			
3.35	3	0.67	A																																			
2	3	2.67	A																																			
1.4	3	6.01	AB																																			
1	3	9.13	B																																			
fino	3	21.68	C																																			
0.25	3	25.64	C																																			
0.5	3	33.66	D																																			
MUESTRA DEL ASERRIN 5 	<table><tr><th>Núm. Malla</th><th>Casos</th><th>Media</th><th>Grupos Homogéneos</th></tr><tr><td>3.35</td><td>3</td><td>0.56</td><td>A</td></tr><tr><td>2.8</td><td>3</td><td>0.69</td><td>A</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>3.99</td><td>B</td></tr><tr><td>1.4</td><td>3</td><td>7.26</td><td>C</td></tr><tr><td>1</td><td>3</td><td>8.94</td><td>D</td></tr><tr><td>fino</td><td>3</td><td>20.08</td><td>E</td></tr><tr><td>0.25</td><td>3</td><td>27.85</td><td>F</td></tr><tr><td>0.5</td><td>3</td><td>30.58</td><td>G</td></tr></table>	Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos	3.35	3	0.56	A	2.8	3	0.69	A	2	3	3.99	B	1.4	3	7.26	C	1	3	8.94	D	fino	3	20.08	E	0.25	3	27.85	F	0.5	3	30.58	G	Los datos anteriores señalan en general que la mayor proporción de los residuos maderables en este caso aserrín se encuentra en el tamiz de 0.5 mm, 0.25 y fino con un 30.58 %, 27.85 % y un 20.08 % respectivamente encontrando diferencias estadísticas entre los demás tamaños.
Núm. Malla	Casos	Media	Grupos Homogéneos																																			
3.35	3	0.56	A																																			
2.8	3	0.69	A																																			
2	3	3.99	B																																			
1.4	3	7.26	C																																			
1	3	8.94	D																																			
fino	3	20.08	E																																			
0.25	3	27.85	F																																			
0.5	3	30.58	G																																			

Nota: Los datos obtenidos de la granulometría de las muestras del residuo denominado aserrín de la tabla 5.5 se repitieron en 3 ocasiones para corroborar que los datos fueran los más parecidos posibles y tener un rango de error mínimo.

Los resultados sobre la granulometría para las muestras de aserrín se encuentran en promedio de 78.32% a 79.92, ubicados en la malla número 0.5 mm los tamaños porcentuales de partícula son parecidos a los reportados por Correa et al., (2014) con un 75.8% y por Orihuela et al., (2014) el cual encontró valores del 76.9%. para este caso la abundancia del tamaño de grano para la fabricación de las briquetas

se encuentra entre 0.5 mm a 2.00 mm el cual pueden ser utilizados para la fabricación de briquetas ya que se encuentran en promedio de 30.05% a 79.92% el cual el rango de porcentaje del tamaño de partícula corresponde a los reportados por Tripathi et al., (1998) en donde encontró valores en ese mismo número de mallas con un porcentaje de 73.1% para maderas de *Pinus*.

5.1.3. CONTENIDO DE CENIZAS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

El término cenizas está definido por el porcentaje en base seca, del cociente de la muestra calcinada y la muestra seca. Los resultados obtenidos para fines de esta investigación se muestran en la tabla 5.6

Tabla 5.6. Determinación del contenido de cenizas de las muestras de viruta

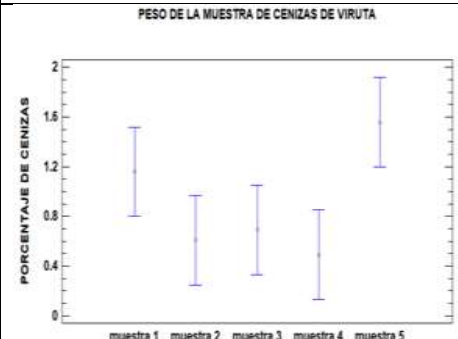
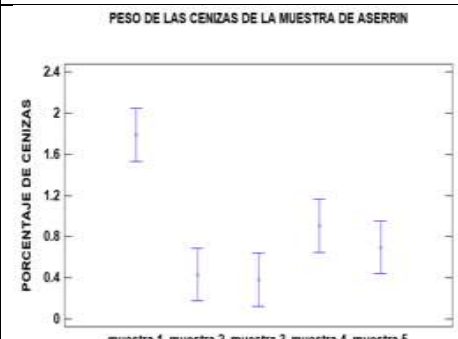
MUESTRAS DE VIRUTA	PRUEBAS DE RANGO MÚLTIPLE				DESCRIPCIÓN
	Muestras	Casos	Media	Grupos Homogéneos	Los datos muestran la variación del contenido de cenizas que se encuentra entre 0.49% a 1.55%
	4	3	0.49	A	
	2	3	0.60	A	
	3	3	0.69	A	
	1	3	1.15	AB	
	5	3	1.55	B	

Tabla 5.7. Determinación del contenido de cenizas de las muestras de aserrín

MUESTRAS DE ASERRÍN	PRUEBAS DE RANGO MÚLTIPLE				DESCRIPCIÓN
	Muestras	Casos	Media	Grupos Homogéneos	Los datos muestran la variación del contenido de cenizas de la muestra de aserrín que se encuentra entre 0.38% a 1.78%.
	3	3	0.38	A	
	2	3	0.43	AB	
	5	3	0.69	AB	
	4	3	0.90	B	
	1	3	1.78	C	

Nota: Los datos obtenidos del contenido de cenizas de las muestras que se encuentran en las tablas 5.6 y 5.7 se repitieron en 3 ocasiones para corroborar que los datos fueran los más parecidos posibles y tener un rango de error mínimo.

El análisis realizado a las muestras maderables determina que el nivel de precisión refiere que de los resultados obtenidos en la determinación del porcentaje de ceniza no debe diferir uno del otro en valores relativos más que el 10%. Para el caso de este análisis los resultados se encuentran en un rango de 0.49% a 1.55% para las muestras de aserrín mientras que para las muestras de viruta se encuentran entre 0.38% a 1.78% por lo cual cumplen con este parámetro y concuerdan con los reportados por Correa et al., (2014) donde los análisis están en un rango de 0.28% a 1.25%, para el caso de los análisis reportados por Correa et al., (2014) para maderas latifoliadas las cenizas están en un rango de 2.25% a 3.32% superando los análisis reportados para esta investigación, para el caso de estas maderas, en conclusión el análisis de cenizas de esta investigación cumplen con la norma establecida.

5.1.4. CONTENIDO DE MATERIALES VOLÁTILES DE LAS MUESTRAS MADERABLES

El material volátil se determina mediante la pérdida de masa que experimenta la muestra debido a la pérdida de humedad, Los resultados obtenidos de este análisis fueron los siguientes: como se muestran en la tabla 5.8.

Tabla 5.8. Determinación del contenido de materiales volátiles de las muestras de viruta

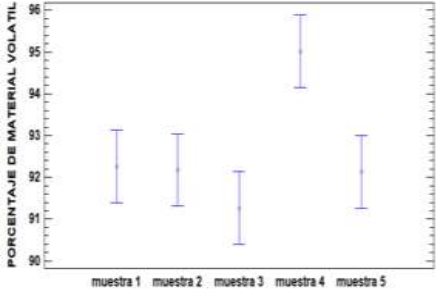
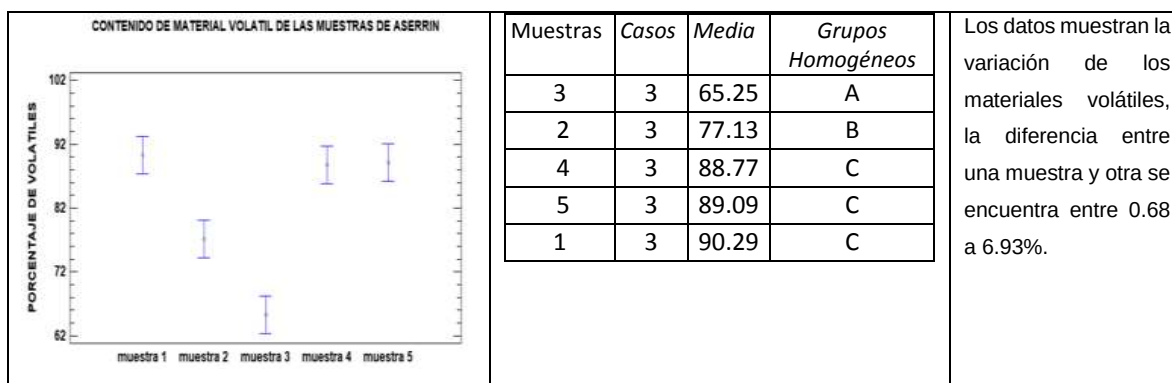
MUESTRAS DE VIRUTA	PRUEBAS DE RANGO MÚLTIPLE				DESCRIPCIÓN
 CONTENIDO DE MATERIAL VOLATIL DE LAS MUESTRAS DE VIRUTA	Muestras	Casos	Media	Grupos Homogéneos	Los resultados muestran la variación de los materiales volátiles, la diferencia entre una muestra y otra se encuentra entre 0.019 a 1.15%.
	3	3	91.26	A	
	5	3	92.12	A	
	2	3	92.17	A	
	1	3	92.25	A	
	4	3	95.01	B	

Tabla 5.9 Determinación del contenido de materiales volátiles de las muestras de aserrín

MUESTRAS DE ASERRÍN	PRUEBAS DE RANGO MÚLTIPLE	DESCRIPCIÓN
---------------------	---------------------------	-------------



Nota: Los datos obtenidos del contenido de material volátil de las muestras que se encuentran en las tablas 5.8 y 5.9 se repitieron en 3 ocasiones para corroborar que los datos fueran los más parecidos posibles y tener un rango de error mínimo.

El nivel de precisión en la determinación de los porcentajes de materiales volátiles no debe diferir uno de otro en más de 2%. Los resultados obtenidos en esta prueba muestran que los análisis de las muestras de viruta se encuentran en rango de 91.26% a 95.01% de volatilidad y para el caso de las muestras de aserrín se encuentran entre 65.3% a 90.29%. Los datos reportados por Estévez, (2014) muestran el material volátil se encuentra en un rango que va del 80.84% a 81.27% de volatilidad para muestras maderable de *Pinus*, por lo cual los datos analizados para esta investigación concuerdan con datos reportados por otros estudios realizados.

5.1.5. DENSIDAD APARENTE DE LAS MUESTRAS MADERABLES

Los resultados obtenidos de la densidad aparente de las muestras se pueden observar en la tabla 5.10.

Tabla 5.10. Determinación de la densidad aparente de las muestras del residuo maderable



Nota: Los datos obtenidos de la densidad aparente de las muestras que se encuentran en la tabla 5.10 se repitieron en 5 ocasiones para corroborar que los datos fueran los más parecidos posibles y tener un rango de error mínimo.

Los resultados obtenidos muestran la densidad a granel la cual presentó una diferencia estadística no tan significativa ya que los valores variaron de 160 y 170 Kg/m³, La densidad reportada por Ortiz, (2006) en maderas de coníferas muestran que la densidad oscila entre el 160 y 330 Kg/m³, mientras que los datos reportados por Orihuela et al., (2016) muestran que la densidad aparente se encuentra entre 160 y 235 kg/m³, por lo cual concluimos que la densidad aparente se encuentra entre los rangos establecidos reportados por investigaciones anteriores.

5.1.6. PODER CALORÍFICO DE LAS MUESTRAS MADERABLES

El poder calorífico es la característica fundamental de un combustible el cual lo define como tal. Altos poderes caloríficos indican buenos combustibles y bajos poderes caloríficos señalan malos combustibles. El poder calorífico depende fundamentalmente de la composición química del combustible.

Para el caso del poder calorífico de las briquetas analizadas los resultados se muestran en las tablas 5.11 y 5.12.

Tabla 5.11. Poder calorífico de las muestras de viruta.

VIRUTA	PESO (g)	PODER CALORÍFICO (MJ/Kg)
Muestra 1	0.9	18.5
Muestra 2	0.9	18.1
Muestra 3	0.9	18.2
Promedio		18.3 (0.2)

Tabla 5.12 Poder calorífico de las muestras de Aserrín.

ASERRÍN	PESO (g)	PODER CALORÍFICO (MJ/Kg)
Muestra 1	0.8	17.0
Muestra 2	0.8	17.3
Muestra 3	0.9	16.6
Promedio		17.0

Para ambos casos el poder calorífico se encuentra en un rango entre 17.0 MJ/Kg a 18.3 MJ/Kg el cual es un poder calorífico considerable para las especies de residuos maderables de *Pinus spp.* De acuerdo a los datos presentados por Carrillo et al., (2016) que briquetas producidas con material de astillas el poder calorífico se

encuentra entre un rango de 19.49 a 19.52 MJ/kg, mientras que los datos reportados por Somoza et al., (2014) los rangos obtenidos del poder calorífico de pellets es de 16 a 19 MJ/Kg mientras que para material de astilla los datos reportan que oscilan entre el 13.0 y el 13.1 MJ/Kg. Por lo cual los datos obtenidos para esta investigación se encuentran en un rango favorable en comparación de otras investigaciones, por lo cual concluimos que el material particulado de la comunidad de San Fco. Pichátaro cuenta con un poder calorífico considerable.

5.2. PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LAS BRIQUETAS

Una vez finalizado el diseño y construcción de la máquina briqueteadora manual, se empezó con la producción de las briquetas como se muestra en la tabla 5.13.

Tabla 5.13. Características de las briquetas primera prueba

Briqueta	Material/ mezcla	Forma y tamaño	Tiempo de secado al sol	Características principales
	Aserrín Agua	Cilíndrica Altura: 8.7 cm Diámetro: 7.2 cm	4 - 5 días	Estructurada al salir del molde se desmorona al secarse
	Viruta Agua	Cilíndrica Altura: 5.8 cm Diámetro: 7.2 cm	5 - 6 días	Se desmorona con facilidad Se raja al sacarla del molde Tarda en secar
	Aserrín Viruta Agua	Cilíndrica Altura: 6 cm Diámetro: 7.2cm	4 - 5 días	Se desmorona con facilidad al salir del molde No tiene consistencia
	Aserrín Agua Fécula de maíz	Cilíndrica Altura: 10 cm Diámetro: 7.2 cm	3 - 4 días	Se agrieta al finalizar el secado Su densidad es media (255.146 gramos)
	Viruta Agua Fécula de Maíz	Cilíndrica Altura: 10.7 cm Diámetro: 7.2 cm	2 - 3 días	Se compacta de manera uniforme El secado es rápido Densidad baja (198.447 gramos)

	Aserrín Viruta Agua Fécula de maíz	Cilíndrica Altura: 17.5 cm Diámetro: 7.2 cm	2 – 3 días	• Mejor consistencia y tarda menos en secar. • Se desmorona poco. • Salió más seca del molde • Densidad (141.748 gramos)
	Aserrín Fino Agua Fécula de maíz	Cilíndrica Altura: 10 cm Diámetro: 7.2 cm	2 días	• Buena estructura y consistencia. • Secado más rápido • Con grietas al secarse
	Aserrín Agua Fécula de maíz	Cilíndrica Altura: 11 cm Diámetro: 7.2 cm	3 días al cuarto día hacer la perforación	• Al perforar al tercer día y dejarlo secar un día más tiempo total de secado 4 días el secado es más rápido
	Viruta Agua Fécula de maíz	Cilíndrica Altura: 10.5 cm Diámetro: 7.2 cm	2 días al tercer día hacer la perforación	• Al perforar al segundo día y dejarlo secar un día más tiempo total de secado 3 días el secado es más rápido
	Aserrín Viruta Fécula de maíz	Cilíndrica Altura: 10.8 cm Diámetro: 7.2 cm	2 días al tercer día hacer la perforación	• Al perforar al segundo día y dejarlo secar un día más tiempo total de secado 3 días el secado es más rápido es igual que la briqueta número 9

Nota: Recaltar que todas las pruebas se repitieron en 3 ocasiones para corroborar los datos de la mezcla y para observar si había alguna variación entre la primera briqueta realizada y la última briqueta realizada de la prueba, además la compactación de las briquetas se realizó de forma manual, sin la ejerción de algún mecanismo eléctrico para la compactación.

Tabla 5.14. Especificaciones de las mezclas para realizar las briquetas

Briqueta	Cantidad/mezcla	Peso inicial (g)	Peso final (g)
	Agua: 1 litro Aserrín: 297.67 g	572.6	167.0
	Agua: 1 litro Viruta: 198.447 g	379.8	144.5
	Agua: 1 litro Aserrín: 303.339 g Viruta: 198.447 g	337.3	90.7
	Agua: 1 litro Aserrín: 385.553 g Fécula de Maíz: 274.99 g	737.0	141.7
	Agua: 1 litro Viruta: 198.447 Fécula de maíz: 269.32 g	320.3	170.0
	Agua: 1 litro Aserrín: 385.553 g Viruta: 274.99 g Fécula de maíz: 269.32 g	572.6	232.4

Nota: Cada briqueta realizada se repitió en 3 ocasiones para corroborar los mismos datos y no existiera alguna diferencia variable entre cada repetición.

Tabla 5.15. Medidas exactas para fabricar las briquetas

Briqueta	Rango de la mezcla	Tiempo de secado	Especificaciones
	Agua: 1 litro Aserrín: De 283.495 a 385.553 g Fécula de maíz: De 255 a 283 g	3 a 4 días	Al utilizar esta mezcla se obtiene 2 briquetas de un tamaño de 12 cm en promedio con un diámetro de 7.2 cm
	Agua: 1 litro Viruta: De 200 a 300 g Fécula de maíz: De 269 a 283 g	2 a 3 días	Al utilizar esta mezcla se obtienen 3 briquetas de un tamaño de 10.8 cm en promedio con un diámetro de 7.2 cm
	Agua: 1 litro Viruta y Aserrín: 255 a 300 g Fécula de maíz: De 255 a 283 g	2 a 3 días	Al utilizar esta mezcla se obtienen 3 briquetas y media de un tamaño las tres primeras de 10.7 cm y la mitad de 5.8 cm todos con un diámetro de 7.2 cm

Las mezclas utilizadas para la elaboración de las briquetas fue citada por (Vera, 2014) el cual reportó la utilización de 230 g de almidón, 500 ml de agua y 1 kg de yuca para la elaboración de una briketa y el cual obtuvo briquetas de diámetro de 5.08 cm, y un largo de 5 cm las cuales fueron generadas con presión manual, para el caso de esta investigación se sustituyó la yuca por el residuo maderable, el almidón por la fécula de maíz, y el agua se triplicó, por 1 L, la cual se generó con estos parámetros la cantidad de 4 briquetas de un tamaño de 7.2 cm de diámetro y una longitud de 9 a 10.5 cm en promedio, corroborando los datos para la fabricación de (Vera, 2014) y superando en cantidad de fabricación de briquetas con un mejor dimensionamiento.

Como dato estadístico podemos decir que de acuerdo al diagnóstico del residuo maderable que se realizó en la primera etapa de esta investigación, en promedio las personas de la comunidad de Pichátaro se genera un costal de aserrín y de

viruta por día, las briquetas producidas con las diferentes mezclas resulto ser las presentadas en la tabla 5.16.

Tabla 5.16. Residuos en kilogramos generados por día

Aserrín (peso promedio por costal)	Viruta (peso promedio por costal)
De 4.5 Kg a 5.3 Kg	De 13 Kg a 15 Kg

Por lo tanto, al utilizar este residuo y producir briquetas, se consiguen generar las siguientes briquetas como se muestra en la tabla 5.17.

Tabla 5.17. Generación de briquetas por costal

Peso del residuo	Briquetas generadas por costal en promedio
Un costal de 4.5 a 5.3 Kg de viruta	Se generan 50 briquetas por costal de un tamaño de 10 cm de altura por 7.2 cm de diámetro
Un costal de 13 a 15 Kg de aserrín	Se generan 150 briquetas por costal de un tamaño de 12 cm de altura por 7.2 cm de diámetro
Un costal de 11 Kg de aserrín y viruta	Se generan 110 briquetas

El costo de producción por briketa se presenta en las tablas número 5.18 y 5.19.

Tabla 5.18. Costo de producción por briketa

Briketa a base de aserrín		
Material	Material utilizado en promedio	Costo por briketa
Agua (tinaco 1100 litros)	1 litro	\$ 0.13 centavos por litro igual a \$ 0.043 por briketa
Aserrín (\$ 3.00 por costal de 14 Kg)	300 gramos	\$ 0.00025 centavos por cada 110 gramos por briketa
Fécula de maíz (\$ 17.00 por 1 Kg)	260 gramos	\$ 1.39 pesos por cada 90 gramos por briketa
Precio total por briketa		\$ 1.43 precio por briketa

Tabla 5.19. Costo de producción por briqueta

Briqueta a base de viruta		
Material	Material utilizado en promedio	Costo por briqueta
Agua (tinaco 1100 litros)	1 litro ó 333.33 ml por briqueta	\$ 0.13 centavos por litro igual a \$ 0.043 por briqueta
Viruta (\$ 5.00 por costal de 5 Kg)	300 g	\$ 0.001 centavos por cada 100 gramos por briqueta
Fécula de maíz (\$ 17.00 por 1 Kg)	260 g	\$ 1.27 pesos por cada 90 gramos por briqueta
Precio total por briqueta		\$ 1.31 precio por briqueta

Para un mejor entendimiento con un kilogramo de fécula de maíz se genera 12 briquetas de un tamaño de 10 cm de altura por 7.2 cm de diámetro.

Para generar las 12 briquetas se ocupan de 1,000 a 1,200 gramos de viruta o aserrín el cual cuesta en promedio \$ 1 (peso) más 4 litros de agua el cual cuesta \$ 0.52 centavos por litro.

Por lo tanto, la producción de 12 briquetas el costo en material sería de \$ 18.52 (dieciocho pesos con cincuenta y dos centavos) o más específico sería en promedio de \$ 1.30 (un peso con treinta centavos) a \$1.45 (un peso con cuarenta y cinco centavos) por briqueta ya sea utilizando aserrín, viruta o ambos residuos maderables.

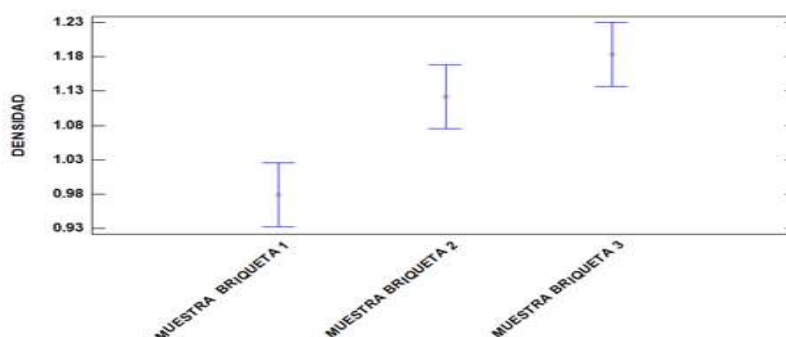
5.2.1. DENSIDAD DE LAS BRIQUETAS

La principal característica de las briquetas frente a otro combustible es que son más densas que estas, con lo que facilitan el transporte, manipulación y almacenaje. 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. El objetivo final de los procesos de briqueteado es siempre lo mismo: obtener un producto final de mayor densidad que los productos iniciales, los resultados de la densidad de las briquetas se muestran en la tabla 5.20.

Tabla 5.20. Densidad de las briquetas

BRIQUETAS					
Muestra	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Altura (cm)	Radio (cm)	Densidad (g/cm ³)
briqueta 1.1	439	382	10	3.6	0.93
briqueta 1.2	433	378	9.7	3.6	0.95
briqueta 1.3	411	360	9.6	3.6	1.04
briqueta 2.2	524	459	10.1	3.6	1.12
briqueta 2.3	510	445	9.8	3.6	1.14
briqueta 2.4	515	445	9.5	3.6	1.09
briqueta 3.1	535	476	9.4	3.6	1.24
briqueta 3.2	518	451	9.7	3.6	1.14
briqueta 3.3	530	467	9.9	3.6	1.16

Los valores calculados para determinar la densidad de las briquetas variaron de 0.93 a 1.24 g/cm² encontrando algunas diferencias estadísticas como se muestra en la gráfica 5.7.



Gráfica 5.7. Densidad de las muestras de las briquetas a base de aserrín

En la Pruebas de Múltiples Rangos que se muestra en la tabla 5.21 determina cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla 5.21. Prueba de rangos múltiples

MUESTRAS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
MUESTRA BRIQUETA 1	3	0.978522	A
MUESTRA BRIQUETA 2	3	1.12151	B
MUESTRA BRIQUETA 3	3	1.18316	B

Nota: los datos obtenidos de la densidad de las briquetas que se encuentran en la tabla 5.20 se repitieron en 3 ocasiones para corroborar que los datos fueran los más parecidos posibles y tener un rango de error mínimo.

La densidad de las briquetas se encuentra entre 0.93 a 1.24 g/cm³, mientras que los datos reportados por Pérez, (2015) obtuvo densidades que oscilan entre el 0.81 a 1.06 g/cm³, mientras que los datos reportados por Orihuela et al., (2016) muestra valores que oscilan entre el 0.89 a 1.08 g/cm³, por lo cual la densidad de las briquetas realizadas para esta investigación no difieren de manera exponencial por las citadas por otros investigadores las cuales se mantienen en un rango positivo, solo falta corroborar si en la combustión esta densidad podría afectar de manera significativa a la combustión del biocombustible.

5.2.2. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS BRIQUETAS

La humedad de la briketa es una característica que está en función del proceso de secado que sigue el residuo de maderable, es uno de os elementos más importantes que se debe de determinar porque de ello depende que el biocombustible tenga un excelente poder calorífico los resultados obtenidos de las briquetas analizadas para esta investigación se muestran en la tabla 5.22.

Tabla 5.22 Humedad final de las briquetas

Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Altura (cm)	Radio (cm)	Humedad final (%)
briketa 1.1	442	387	9.8	3.6	12.3
briketa 1.2	428	378	10.2	3.6	11.5
briketa 1.3	434	383	10	3.6	11.7
briketa 2.1	354	310	10.2	3.6	12.3
briketa 2.2	343	299	9.8	3.6	12.7
briketa 2.3	348	305	10	3.6	12.5
briketa 3.1	328	289	9.9	3.6	11.9
briketa 3.2	331	288	10.1	3.6	13.0
briketa 3.3	317	275	9.8	3.6	13.2

Como se mencionó anteriormente la humedad es una característica que determina el porcentaje de agua contenida en un producto. Desde el punto de vista energético, la humedad influye de manera directa en el poder calorífico. La tabla anterior muestra que la humedad final de las briquetas se encuentra en un rango establecido entre 11.52 % de humedad a 13.26 % de humedad, de acuerdo a la norma establecida la humedad final de las briquetas no debe de ser mayor del 15 % para poder tener una combustión estable en dispositivos de uso final, para este caso la

mayoría de las briquetas se encuentran establecidas en ese rango solo dos sobrepasan el contenido de humedad establecido.

Datos reportados por la empresa COVAERSA Briec, (2011). Reportan que la humedad final de sus briquetas se encuentra en un rango de 14 al 16%, mientras que Pasache & Sanchez, (2013) reportan la humedad final entre el 8 al 10%, en ambos casos se utilizaron maquinaria eléctrica para la fabricación de la briketa y esto a su vez hace que la materia prima se valla secando de forma más rápida.

5.2.3. MEDICIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO OBTENIDOS DE LAS BRIQUETAS
Para obtener resultados comparativos lo más precisos posibles, se han llevado a cabo cinco pruebas WBT con leña tradicional en un fogón de tres piedras y otras cinco pruebas con briquetas en un dispositivo denominado gasificador Azimba. Para ello se utilizó 5 litros de agua en cada prueba, registrando previamente la temperatura inicial de ésta. También se han tenido en cuenta otros parámetros tales como la temperatura del ambiente, humedad relativa, y el peso del combustible. La tabla 5.23 muestra los resultados del desempeño energético de ambos combustibles (briketa y encino).

Tabla 5.23. Desempeño energético de las briquetas y la leña en una prueba de ebullición de agua

DATOS GENERALES								
Combustible			Prueba		Dispositivo		n	
Briquetas a)			WBT (Inicio Caliente)		Gasificador Atzimba		5	
leña b) *			WBT (Inicio Caliente)		Fogón en 3 piedras (F3P)		5	
DESEMPEÑO ENERGÉTICO								
Tiempo total (min)			Tasa de quemado (g/min)		Potencia (kW)		Eficiencia Térmica (%)	
	Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD
a)	21	6	20	4	6.3	1.1	24%	2%
b)	24	5	27	7	7.9	2.0	17%	1%

*Datos obtenidos del Laboratorio de Innovación y Evaluación de Estufas de Biomasa (LINEB).

Las pruebas de ebullición de agua corresponden sólo al inicio caliente en alta potencia con n=5. Como puede apreciarse en tabla 5.23, la tasa de quemado es mayor para la leña de encino blanco, (*Quercus bicolor*) lo que representa la cantidad de masa por unidad de tiempo de combustión, esto es, se combustiona más

rápidamente el encino que las briquetas propuestas; lo cual se manifiesta en una mejor eficiencia térmica con un 24%, en comparación para el caso del fogón de tres piedras que utiliza la leña con un 17% de eficiencia térmica. Datos reportados por Ruíz-García, (2018) menciona que, al analizar el combustible de encino, en una estufa Patsari determino una eficiencia térmica en promedio de 30%. Por otro lado, Medina et al., (2017) reporta que la eficiencia térmica del $15\% \pm 2$ para el mismo dispositivo una estufa Patsari, por lo tanto, la eficiencia térmica de las briquetas es casi similar a la reportada por Ruiz-García (2018) y estadísticamente diferente a la reportada por Medina et al., (2017). Como dispositivos de uso final el uso del gasificador con briquetas como combustible genera diversos beneficios para el usuario; pues, el desempeño energético asociado al consumo de combustible se traduce en impactos económicos y socioambientales.

La tabla 5.24 muestra los factores de emisión para cada combustible analizado. Se puede apreciar que las emisiones de CO₂ por Kg de combustible para el caso de las briquetas representan aproximadamente $\frac{1}{4}$ de las emisiones de leña; análogo al caso anterior, las emisiones de CO representan cerca del 30% de las emisiones de leña; lo mismo ocurre de forma comparativa para las emisiones correspondientes al metano, para el caso de la leña son aproximadamente 4 veces más que las emisiones de briquetas, datos reportados por Ruíz-García, (2018) menciona que las emisiones de metano en una prueba WBT genera 1,745 mg/Kg, lo cual se puede determinar que las emisiones de metano que generan las briquetas son de menor emisión con 233 mg/Kg. Por último, se puede observar la relación de emisiones de PM_{2.5} son 3 veces más para la leña que para las briquetas.

Tabla 5.24. Factores de emisión por combustible seco consumido

DATOS GENERALES									
Combustible			Prueba		Dispositivo			n	
Briquetas a)			WBT (Inicio Caliente)		Gasificador Atzimba			5	
Leña b) *			WBT (Inicio Caliente)		Fogón en 3 piedras (F3P)			5	
Factores de emisión por combustible seco consumido									
gCO2/kg			gCO/kg		mg Metano/kg		mg PM2.5/kg		
	Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD	

a)	309	75	12	5	233	124	1,204	579
b)	1,129	118	39	12	852	324	3,375	1,293

*Datos obtenidos del Laboratorio de Innovación y Evaluación de Estufas de Biomasa (LINEB).

Se puede observar en la tabla 5.25 los factores emisión asociados a unidades de energía derivados de cada combustible analizado.

Tabla 5.25. Factores de emisión por energía entregada por el combustible

DATOS GENERALES								
Combustible			Prueba		Dispositivo		n	
Briquetas a)			WBT (Inicio Caliente)		Gasificador Atzimba		5	
Leña b) *			WBT (Inicio Caliente)		Fogón en 3 piedras (F3P)		5	
Factores de emisión por energía entregada por el combustible								
g CO2/MJd			g CO/MJd		mg Metano/MJd		mg PM2.5/MJd	
	Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD
a)	87	5	3	1	64	23	330	96
b)	108	1	4	1	81	30	316	95

*Datos obtenidos del Laboratorio de Innovación y Evaluación de Estufas de Biomasa (LINEB).

Es observable en la tabla anterior que por cada MJ de energía generada la cantidad de CO₂ emitido es mayor para la leña, y los parámetros de CO, Metano y PM_{2.5} son muy similares para ambos combustibles: (lo cual se debe posiblemente al porcentaje de carbono que tiene cada uno de estos combustibles). Datos reportados por Ruíz-García (2018) muestran que la emisión de metano por la energía entregada por el combustible es de 153 mg/MJ mientras que para la briqueta es solo de 64 mg/MJ lo que resulta menos de la mitad de la energía entregada.

A continuación, en la tabla 5.26 se muestran las tasas de emisión por unidad de tiempo del proceso de combustión de cada uno de los combustibles estudiados, en todos los casos analizados se aprecia que las emisiones son menores para las briquetas que la leña. Datos reportados por Ruíz-García (2018) el metano producido por la leña en un dispositivo final (Patsari) muestran un parámetro de 78 g/min, mientras que la briqueta produce 20 g/min, en lo que se refiere al PM_{2.5} los datos reportados muestran un rango de 16 a 201 mg/min, mientras que la briqueta emite 103 mg/min.

Tabla 5.26. Tasas de emisión

DATOS GENERALES								
Combustible			Prueba		Dispositivo		n	
Briquetas a)			WBT (Inicio Caliente)		Gasificador Atzimba		5	
Leña b) *			WBT (Inicio Caliente)		Fogón en 3 piedras F3P		5	
Tasas de emisión								
g CO2/min			g CO/min		mg Metano/min		mg PM2.5/min	
	Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD
a)	28	4	1.0	0.1	20	5	103	22
b)	46	12	1.5	0.2	34	15	128	21

*Datos obtenidos del Laboratorio de Innovación y Evaluación de Estufas de Biomasa (LINEB).

En la tabla 5.27 aparecen los factores de emisión por tarea desempeñada en este caso 1 L de agua ebullición, el análisis resulta interesante debido a que se incorporan variables como el poder calorífico y la eficiencia térmica necesarios para completar la ebullición del agua. Es destacable que para realizar la tarea en cuestión las emisiones de CO₂ representan aproximadamente el doble en el caso de la leña en comparación con las briquetas propuestas; lo mismo ocurre para las emisiones de CO y Metano. Finalmente se puede apreciar que las emisiones de PM_{2.5} representan aproximadamente para el caso de las briquetas dos terceras partes de las emisiones de leña. Datos reportados por Medina et al., (2017) muestra que en tareas para WBT las emisiones por litro de agua ebullición de CO resultan en promedio de 18 g/L, para las briquetas solo es de 4 g/L, para el Metano la emisión reportada por Ruíz-García, (2018) muestra una emisión de 724 mg/L, mientras que la briqueta analizada arroja una emisión de 84 mg/L, lo cual tiene una menor emisión que el metano producido por la leña.

En resumen, se puede inferir que el proceso de desempeño en dispositivos de uso final de las briquetas propuestas, representa una alternativa energéticamente más eficiente y ambientalmente viable en comparación de la leña; y si a esto le añadimos la combustión eficiente de estos combustibles en dispositivos de uso final asequibles, podemos sugerir que el uso de dispositivos como gasificadores y estufas ahorradoras de leña, son una alternativa complementaria y eficaz, puesto

que una estufa y un combustible eficientes son necesarios para lograr la cocción de alimentos en el sector residencial de una forma sostenible.

Tabla 5.27. Factores de emisión por litro de agua ebullida

DATOS GENERALES								
Combustible			Prueba		Dispositivo		n	
Briquetas a)			WBT (Inicio Caliente)		Gasificador Atzimba		5	
Leña b) *			WBT (Inicio Caliente)		Fogón en 3 piedras F3P		5	
Factores de emisión por litro de agua ebullida								
g CO2/l			g CO/l		mg Metano/l		mg PM2.5/l	
	Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD
a)	114	10	4	1	84	31	434	136
b)	214	17	7	2	163	71	626	189

*Datos obtenidos del Laboratorio de Innovación y Evaluación de Estufas de Biomasa (LINEB).

5.2.4. EVALUACIÓN TERMOGRÁFICA DE LAS BRIQUETAS REALIZADAS

En este análisis se determinó la combustión de las briquetas en comparación de la leña convencional, cabe mencionar que en la comunidad existen dos tipos de combustibles derivados del bosque para diferentes actividades estos combustibles son: la leña de pino y la leña de encino. El desprendimiento térmico alcanzado por los combustibles en un tiempo de 20 minutos se puede observar en la figura 5.1.

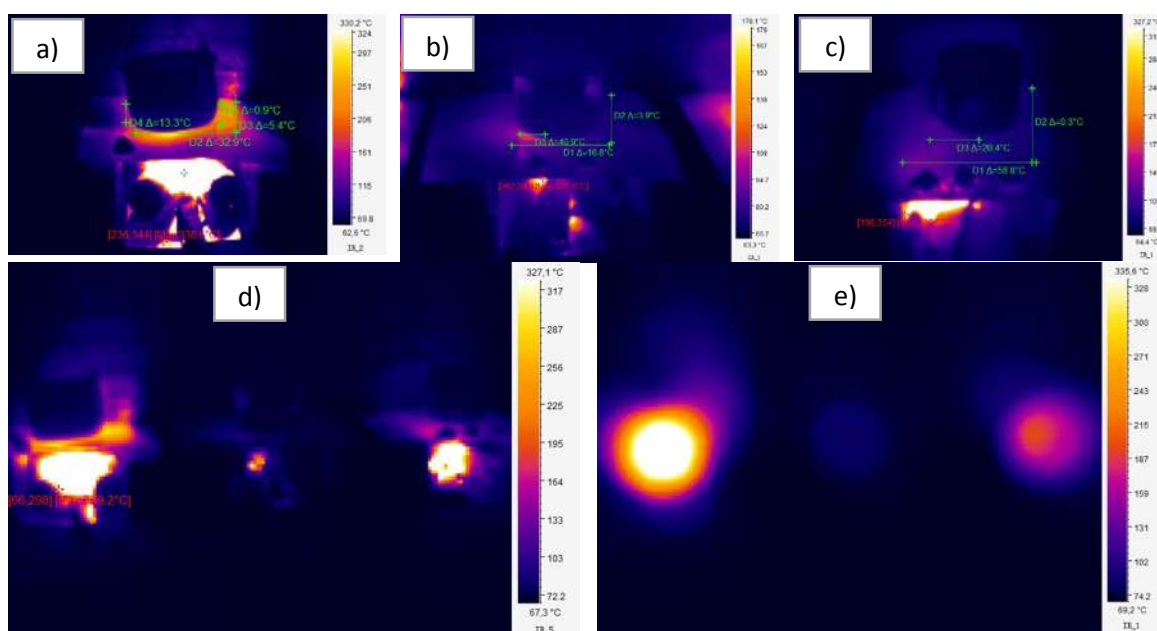


Figura 5.1. Combustión a) Briqueta, b) Leña de pino, c) Leña de encino, d) Imagen integradora de los tres combustibles, e) Emisión en forma de cuerpo radiante de los tres combustibles

- a) Muestra el análisis térmico de la combustión de las briquetas alcanzó una máxima temperatura de 330.2 °C en 20 minutos.
- b) Muestra el análisis térmico de la combustión de la leña de pino el cual alcanzó una máxima temperatura de 178.1 °C en el mismo tiempo que la briketa.
- c) Muestra el análisis térmico de la combustión de la leña de encino el cual alcanzó una máxima temperatura de 327.2 °C en el mismo tiempo que la leña de pino.
- d) Muestra la imagen integrada de los tres combustibles compitiendo entre sí, en esta fase la briketa es la que mayor desprendimiento térmico emite con 321.1 °C.
- e) Muestra a los tres combustibles emitiendo una energía en forma de cuerpo radiante, donde se puede observar todas las temperaturas emitidas en un área determinada, las briquetas emiten una temperatura que va en intervalos desde 54.8 °C hasta los 335.6 °C en promedio, mientras que el cuerpo radiante de la leña de pino emite una intensidad que va desde los 69.2 °C hasta los 102 °C, y la leña de encino va desde 102 °C a 215 °C, esta imagen se tomó a los 30 minutos de la combustión.

La figura 5.2. muestra el desprendimiento térmico alcanzado por los combustibles en un tiempo de 40 minutos.

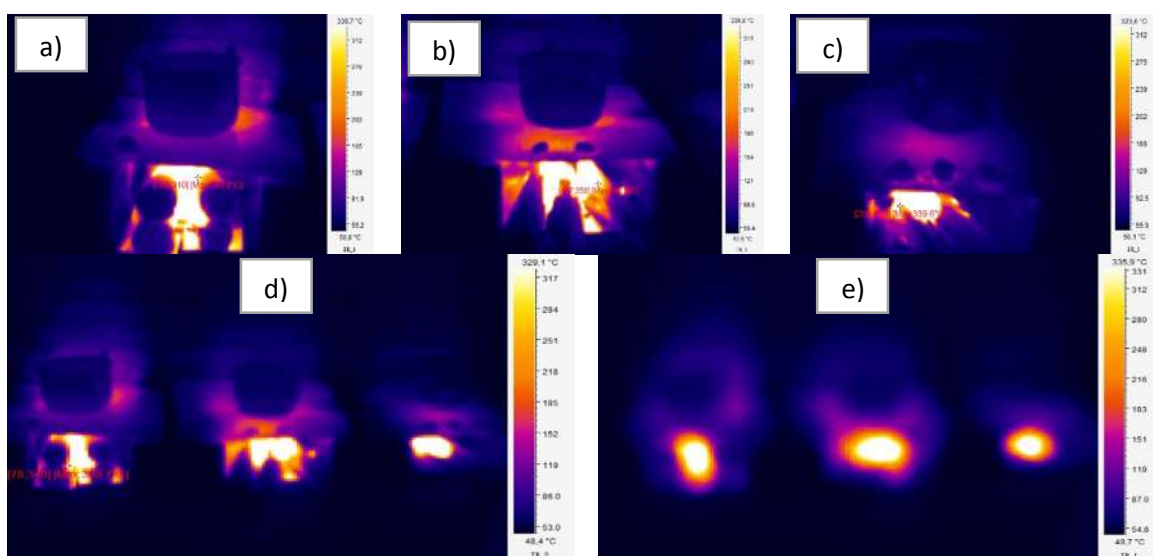


Figura 5.2 Combustión a) Briketa, b) Leña de pino, c) Leña de encino, d) Imagen integradora de los tres combustibles, e) Emisión en forma de cuerpo radiante de los tres combustibles

- a) Muestra el análisis térmico de la combustión de las briquetas alcanzó una máxima temperatura de 335.7 °C en 45 minutos.
- b) Muestra el análisis térmico de la combustión de la leña de pino el cual alcanzó una máxima temperatura de 336.8 °C en el mismo tiempo que la briketa.
- c) Muestra el análisis térmico de la combustión de la leña de encino el cual alcanzó una máxima temperatura de 323.6 °C en el mismo tiempo que la leña de pino.
- d) Muestra la imagen integrada de los tres combustibles compitiendo entre sí, en esta fase la briketa es la que mayor desprendimiento térmico emite con 329.1 °C.
- e) Muestra a los tres combustibles emitiendo una energía en forma de cuerpo radiante, donde se puede observar todas las temperaturas emitidas en un área determinada, las briquetas emiten una temperatura que va en intervalos desde 87.0 °C hasta los 335.9 °C en promedio, mientras que el cuerpo radiante de la leña de pino emite una intensidad que va desde los 54.8 °C hasta los 335.9 °C, y la leña de encino va desde 49.7 °C a 335.9 °C, esta imagen se tomó a los 50 minutos de la combustión.

Posteriormente, la figura 5.3 muestra el desprendimiento térmico alcanzado por los combustibles en un tiempo de 1 hora con 10 minutos.

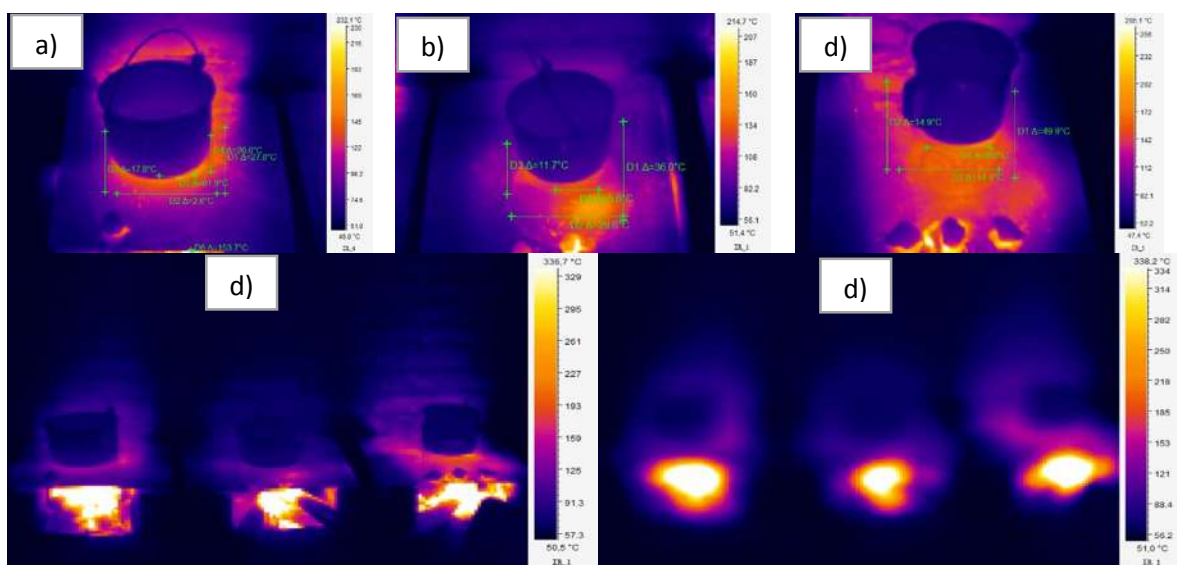


Figura 5.3. Combustión a) Briketa, b) Leña de pino, c) Leña de encino, d) Imagen integradora de los tres combustibles, e) Emisión en forma de cuerpo radiante de los tres combustibles

- a) Combustión de las briquetas temperatura máxima de 232.1 °C en 1 hr con 10 minutos.
- b) Combustión de la leña de pino temperatura máxima de 214.7 °C en el mismo tiempo que la briketa.
- c) Combustión de la leña de encino el cual alcanzó una máxima temperatura de 265.1 °C en el mismo tiempo que la leña de pino.
- d) Imagen integrada de los tres combustibles compitiendo entre sí, en esta fase la leña de encino es la que mayor desprendimiento térmico emite con 336.7 °C.
- e) Emisión de energía en forma de cuerpo radiante, donde se puede observar todas las temperaturas emitidas en un área determinada, las briquetas emiten una temperatura que va en intervalos desde 56.2 °C hasta los 338.2 °C en promedio, mientras que el cuerpo radiante de la leña de pino emite una intensidad que va desde los 60 °C hasta los 338.2 °C, y la leña de encino va desde 51.0 °C a 338.2 °C, esta imagen se tomó después de 1 hora con 20 minutos de la combustión.

Por último, la figura 5.4 muestra la finalización de la combustión después de un lapso de tiempo de 1 hora con 40 minutos.

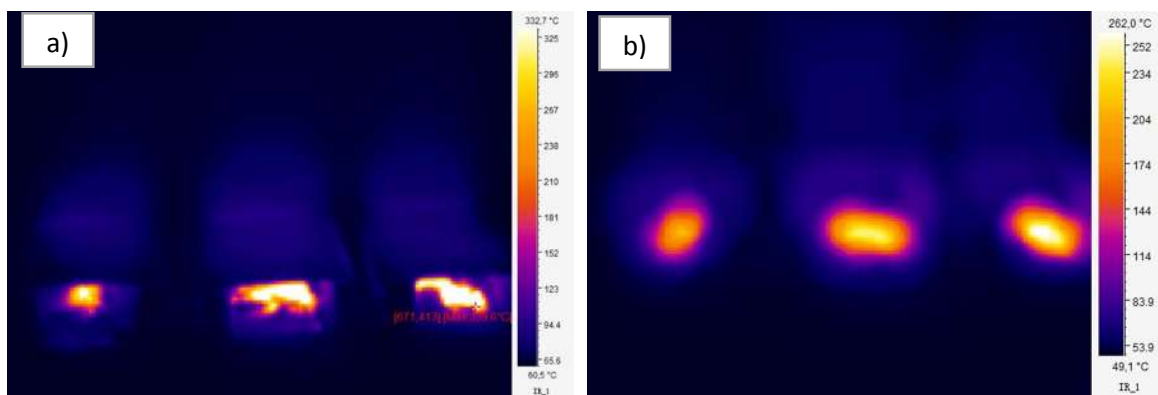


Figura 5.4. a) Imagen integradora de los tres combustibles, b) Emisión en forma de cuerpo radiante de los tres combustibles

- a) Imagen integrada de los tres combustibles, en esta fase la leña de pino es la de mayor desprendimiento térmico emite con 332.2 °C.
- b) Emisión de energía en forma de cuerpo radiante, para esta fase la mayoría de las temperaturas se encuentran en un rango en promedio que van desde

los 49.1 °C hasta los 262.0 °C, es el final de la prueba después de 1 hora con 50 minutos de combustión de los tres combustibles.

El análisis térmico es utilizado en un gran número de aplicaciones científico técnicas. Se ha convertido en una herramienta muy eficiente para la determinación de propiedades termodinámicas como entalpías, capacidades calóricas y temperaturas de transición de fases, los métodos desarrollados para el análisis térmico permiten estudiar la cinética de procesos térmicamente estimulados como la combustión (Rodríguez et al., 2009)

El análisis térmico es una técnica muy empleada para la descomposición en estado sólido, pero también ha tenido su aplicación en estudio de combustibles líquidos como reporta (Rodríguez et al., 2009) la aplicación de termografía en aceites de girasol, palma, algodón y maíz. Los perfiles termogravimétricos presentaron en todos los casos solo una etapa de pérdida de masa. En el caso del diésel entre 50 y 310 °C la cual fue atribuida a la descomposición y volatilización de las sustancias que lo componen para el caso de esta investigación los combustibles sólidos de acuerdo a la termografía la pérdida de masa empieza con temperaturas que oscilan entre 49.1 °C hasta 338.2 °C.

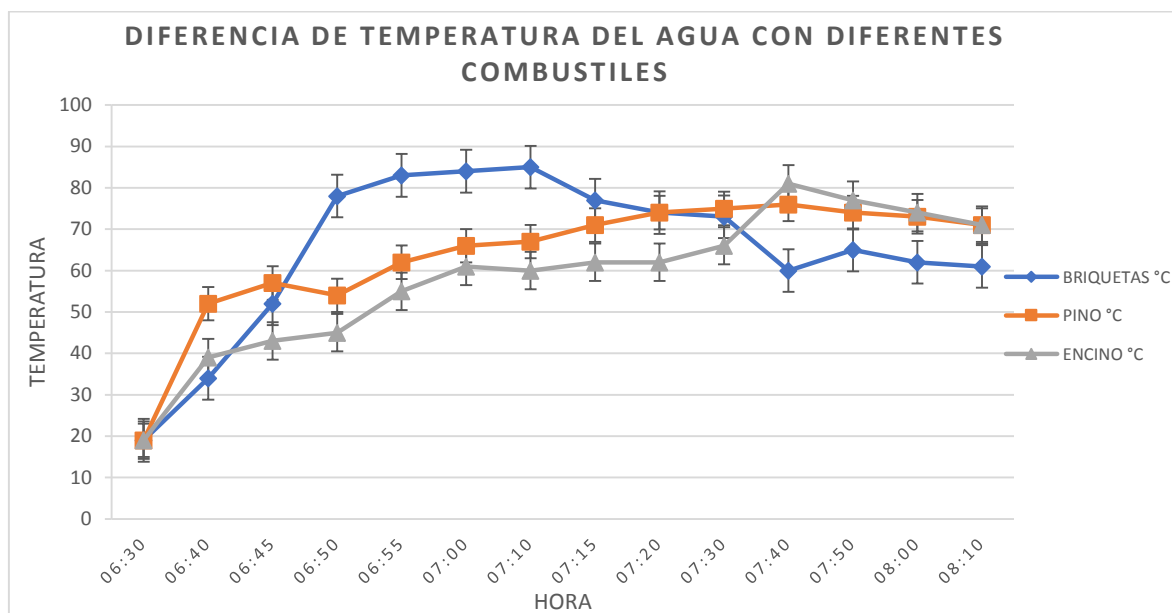
Con la finalidad de determinar un parámetro de que combustible puede llegar a obtener el punto de ebullición del agua se realizó un registro con las diferentes variaciones de temperaturas en un tiempo determinado, como se puede observar en la tabla 5.28. El registro se realizó en intervalos de 5 y 10 minutos hasta obtener el punto de ebullición del agua.

Tabla 5.28. Registro de la temperatura del agua con los diferentes combustibles utilizados

HORA	BRIQUETAS °C	PINO °C	ENCINO °C	T. AMBIENTE °C	H. RELATIVA %
06:30	19	19	19	19.5	66
06:40	34	52	39	20	64
06:45	52	57	43	20.2	62
06:50	78	54	45	20.4	62
06:55	83	62	55	20.6	64
07:00	84	66	61	20.7	61
07:10	85	67	60	20.5	62
07:15	77	71	62	20.4	62
07:20	74	74	62	19.3	62
07:30	73	75	66	20.1	64

07:40	60	76	81	20.5	64
07:50	65	74	77	20.4	60
08:00	62	73	74	20.2	61
08:10	61	71	71	19.7	61

De estos datos se generó una gráfica para tener un mejor entendimiento.



Gráfica 5.8. Diferencia de temperatura del agua con los diferentes combustibles en el proceso de combustión

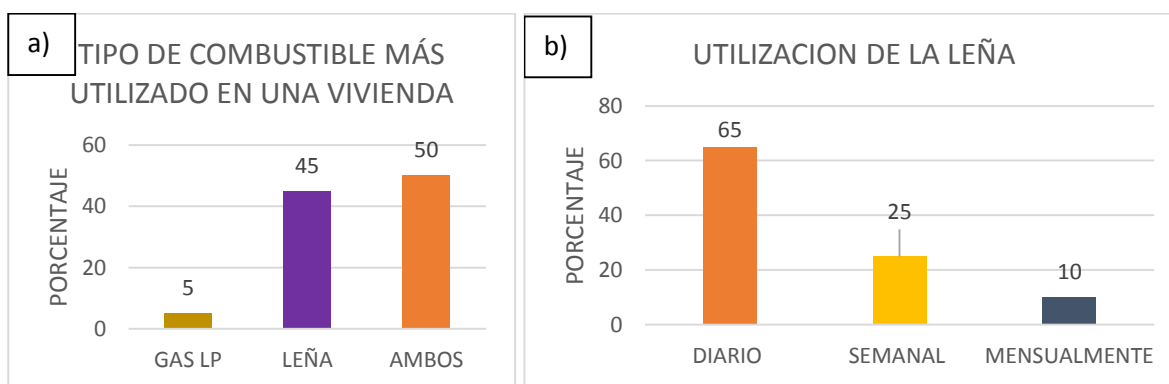
La gráfica 5.8 muestra los valores obtenidos durante la medición de los tres combustibles durante 1 hora y 40 minutos, el cual arrojó que la temperatura inicial del agua fue de 17°C, a partir de ahí se empezó con la medición de los combustibles, la briqueña en los primeros 10 minutos su encendido es más lento en comparación de la leña que fue más rápido, obteniendo una temperatura a los 10 minutos de 52 °C con respecto a la briqueña que fue de 36 °C y para la leña de encino su temperatura a ese mismo tiempo fue 39 °C, pero a los 25 minutos de combustión la briqueña empezó a mejorar su rendimiento obteniendo una temperatura de 53 °C, en comparación de la leña que se mantuvo prácticamente constante solo subiendo a 58 °C solo 6 °C más que la medición anterior, mientras que la leña de encino solo subió a 55 °C 16 °C más que la medición anterior. Conforme fue avanzando el tiempo la cámara de combustión donde estaban colocadas las briqueñas mejoró el rendimiento, elevando más rápido la temperatura del agua obteniendo una temperatura de 89 °C en un tiempo de 40 minutos, mientras que la leña de pino la

máxima temperatura alcanzada fue de 78 °C en un tiempo de 1 hora y 10 minutos, y para la leña de encino la máxima temperatura que alcanzo fue de 81 °C en un tiempo de 1 hora con 10 minutos el mismo tiempo que la leña de pino solo con 3 °C de diferencia en promedio, por último la temperatura final de los combustibles fue para el caso de las briquetas fue de 61 °C en un tiempo de 1 hora y 40 minutos, mientras que para la leña de pino fue de 71 °C en el mismo tiempo que la briketa, mientras que para la leña de encino la temperatura final fue de 71°C en el mismo tiempo que la leña de pino, solo la briketa tuvo una pérdida de temperatura considerable de 10 °C. Algo importante en esta etapa a los combustibles se les dejó que compitieran térmicamente solos sin la ayuda de oxigenación o algún aditivo esto para tener una mejor comparación y saber de qué manera influye la humedad y la densidad para estos combustibles.

5.2.5. DIAGNÓSTICO COMUNITARIO PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL COMBUSTIBLE MÁS UTILIZADO EN LA MISMA

Así como se realizó un diagnóstico para determinar que residuo maderable era el más abundante en la comunidad, de la misma forma se realizó un diagnóstico para identificar el combustible más utilizado, así como precio de los mismos entre otros datos que se recabaron en la comunidad de San Francisco Pichátaro.

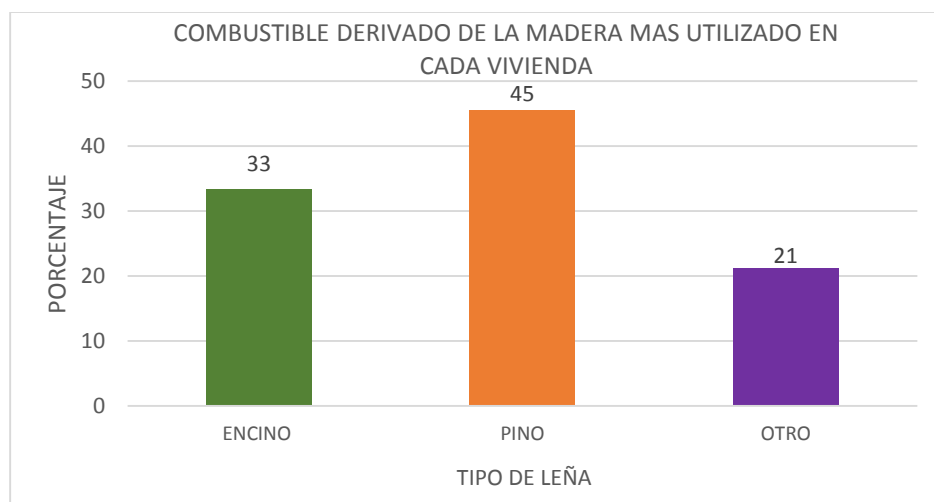
De acuerdo a este diagnóstico que se realizó, se determinó como primer punto que el combustible más utilizado por la vivienda en la población son los resultados que se muestran en la gráfica 5.9.



Gráfica 5.9. Determinación del combustible más utilizado por semana en la comunidad, así como la leña por un periodo de tiempo determinado

- a) La gráfica 5.9 muestra que el combustible más utilizado por semana en cada vivienda son la leña y el gas LP con un 50% seguido por la leña con un 45% cada semana y solo el 5% de los encuestados utilizan solo gas LP para sus diferentes actividades.
- b) Los datos de la gráfica demuestran que la utilización de un determinado combustible en la comunidad es diario con un 65% es decir que los habitantes por cada vivienda utilizan diariamente la leña para realizar sus diferentes actividades, solo el 25% utiliza la leña cada semana para alguna actividad y solo el 10% utiliza la leña cada mes.

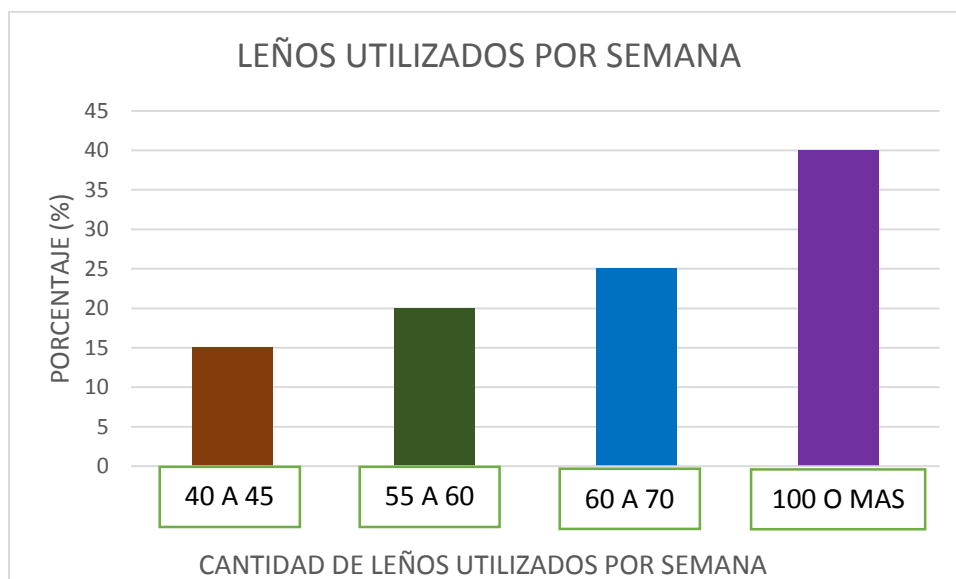
Siguiendo este proceso se determinó que el combustible derivado de la madera más utilizado en cada vivienda como se muestra en la gráfica 5.10.



Gráfica 5.10. Combustible derivado de la madera más utilizado por vivienda en la comunidad

La gráfica 5.10 muestra que la leña de pino es la más utilizada por la población en cada vivienda con un 45.45%, seguido por la leña de encino con un 33.33% de utilización, y por último otros con un 21.21% que son combustibles derivados de la madera como (astillas, corteza, ramas pedazos que sobran de la fabricación de muebles etc).

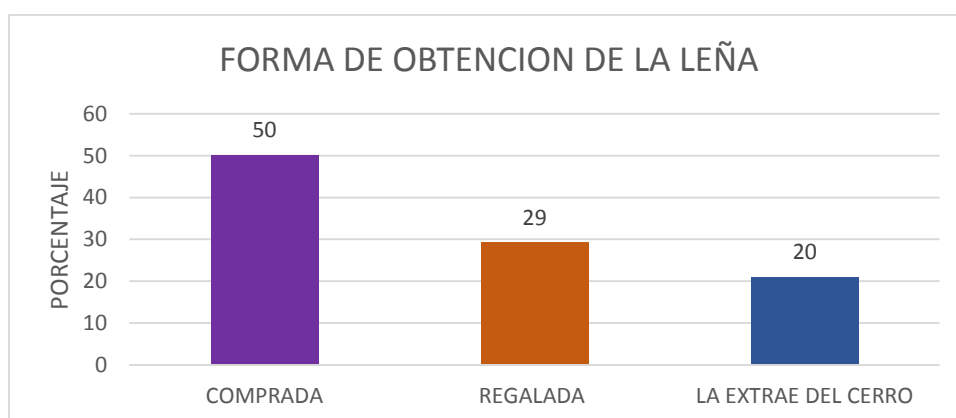
Siguiendo con este proceso en promedio los habitantes de la población por cada vivienda utilizan alrededor de una cierta cantidad de leños por semana los cuales se muestran en los datos recaudados en la gráfica 5.11.



Gráfica 5.11. Cantidad de leños utilizados por semana en cada vivienda de la comunidad

Los resultados anteriores muestran que la cantidad de leños que se utiliza en la comunidad es alrededor de 100 o más leños por semana con un 40% de utilización, seguido por 55 a 60 leños por semana con un 25%, luego utilizan 60 a 70 leños con un 20%, y de 40 a 45 leños utilizados por semana con un 15%. Estos datos son con la leña de pino ya que como se mostró en la gráfica 5.11 es el tipo de leño más utilizado.

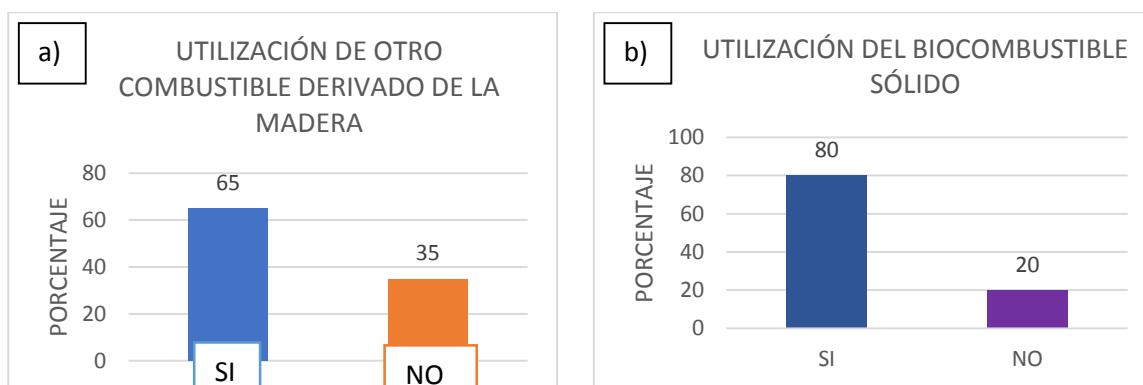
En este mismo diagnóstico es importante conocer la forma de obtención de la leña el cual este diagnóstico arrojó los siguientes datos que se muestran en la gráfica 5.12.



Gráfica 5.12. Forma de obtención de la leña para uso cotidiano en las viviendas de la comunidad

En la gráfica anterior se muestra que la mayoría de la población obtiene la leña comprándola con un 50%, la segunda fuente donde la obtienen es cuando se la regalan con un 29 % y el resto de la población la extrae de los cerros, para evitar pagar por el servicio con un 20 %.

En este mismo diagnóstico, se preguntó que, si existiera otro combustible derivado de la madera, lo utilizarían como combustible alternativo para sus diferentes actividades o seguirían utilizando su combustible tradicional los resultados arrojados se muestran en la gráfica 5.12.



Gráfica 5.12. Utilización de otro combustible derivado de la leña

- a) Los datos anteriores muestran que las personas de la comunidad están dispuestos a utilizar otro combustible derivado de la madera siempre y cuando sean con mejores condiciones de combustión que la leña convencional el 65% de estos encuestados están dispuestos a utilizar otro combustible el 35% no utilizaría este combustible.

De acuerdo a la pregunta planteada en para obtener los datos de la gráfica 5.12, se preguntó si este combustible que se le está proponiendo a los habitantes de la comunidad, fuera de mayor duración en la combustión, más ecológico y generara menos humo u hollín pagaría un poco más por estos beneficios que se le está proponiendo con este biocombustible, los datos obtenidos de los encuestados fueron los siguientes, que se mostraron en la gráfica 5.12.

- b) muestran que las personas encuestadas están dispuestas a utilizar el biocombustible solido que se les está proponiendo con un 80% de aprobación

solo el 20% rechaza la utilización de un biocombustible, los que están dispuestos a utilizar este biocombustible mencionan que lo utilizarían siempre y cuando mejore las características fisicoquímicas de la leña convencional, además están dispuestos a pagar un 25% más por el precio del biocombustible en comparación del precio de la leña si cumple con las características antes mencionadas.

Nota: todos estos resultados y gráficos mostrados anteriormente se basaron en un diagnostico comunitario a través de unas encuestas que se elaboraron y que se muestran en el ANEXO A

5.2.6 DETERMINACIÓN ECONÓMICA PARA LA FABRICACIÓN DE BRIQUETAS

En la comunidad indígena de San Francisco. Pichátaro, la comercialización de la leña es de uso diario como se pudo observar en la gráfica 5.12, la mayoría de las personas compran la leña a las mismas personas de la comunidad, en la actualidad el consumo de esta biomasa es prioridad en la comunidad, pero la drástica deforestación, ha causado que los habitantes tengan que recorrer más distancia en los montes para la extracción de la leña de una cierta especie y de esta forma su costo se eleva.

En este diagnóstico, las personas entrevistadas mencionan que la leña de encino es la que más utilizan ya que su poder calorífico en comparación al pino es mejor, pero cada vez es más difícil acceder a este tipo de combustible, en cambio la leña de pino es más fácil de obtener ya que la comunidad aprovecha los troncos o puntas que quedan de los árboles donde se obtiene la madera para los muebles, y de ahí obtienen de manera más fácil y rápida este combustible.

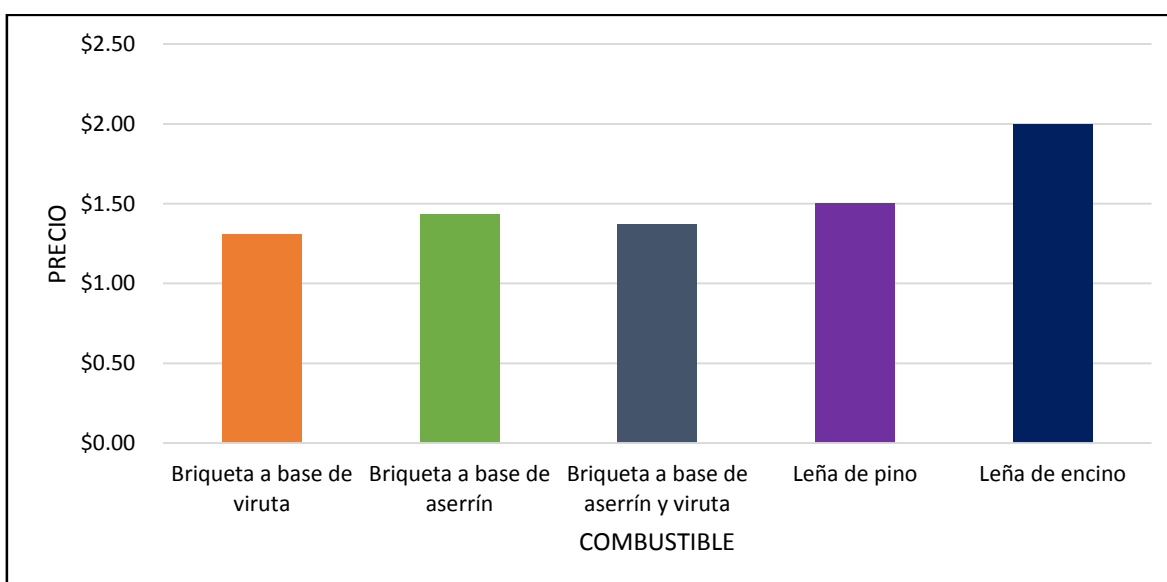
La tabla 5.29 muestra el resultado del diagnóstico realizado en la comunidad donde se muestra la comparación del precio de la leña de dos tipos en este caso pino y encino, siendo el encino el más caro, cada leño su costo es de \$2.00 por unidad en comparación de la leña de pino que es de \$1.50. Por ultimo de acuerdo a las pruebas experimentales que se realizaron en esta investigación, se determinó que

el precio de la briqueta por unidad es accesible en comparación con la leña convencional como se muestra en la siguiente tabla 5.29.

Tabla 5.29. Precio de la briqueta por unidad en comparación con la leña convencional

Precio de cada combustible maderero (precio unitario)	
Unidad de Combustible	Precio/Unidad
Briqueta a base de viruta	\$ 1.31
Briqueta a base de aserrín	\$ 1.43
Briqueta a base de aserrín y viruta	\$ 1.37
Leña de pino	\$ 1.50
Leña de encino	\$ 2.00

De acuerdo a la siguiente gráfica el precio entre cada uno de ellos es variable como se muestra en la gráfica.



Gráfica 5.13. Comparación de precios de diferentes combustibles

Por lo tanto, la desviación estándar entre los combustibles es de 0.27, lo cual podemos decir que el precio entre cada combustible varía muy poco.

5.2.7. COCCIÓN DE TORTILLAS EN UN DISPOSITIVO DE USO FINAL (PATSAI) FINAL

En esta etapa se muestran los resultados de las pruebas de cocción de tortillas en un dispositivo de uso final, el objetivo era determinar cuántos kilogramos de

briquetas se necesitarían para cocinar 3 kg de masa de maíz y así obtener una cierta cantidad de tortillas y el tiempo estimado de la cocción de esta masa. El anexo C muestran todos los parámetros involucrados para la realización de las pruebas de cocción.

La tabla 5.30 muestra una síntesis de las tablas anteriores donde se puede observar el tiempo estimado para la cocción de cada masa de maíz junto con la cantidad de briqueta utilizada.

Tabla 5.30. Síntesis de los datos obtenidos de la cocción de las tortillas de maíz

Tiempo de cocción (minutos)	Briqueta utilizada (g)	Masa utilizada (g)	Fase de inicio	Dispositivo
67	1,885	3,235	Inicio frio	Patsari
55	1,792	2,986	Inicio caliente	
58	1,697	3,197	Inicio caliente	

El resultado de la primera fase de inicio frio muestran que para la cocción de 3,235 g de masa de maíz se necesitan 1,885 gramos de briquetas y el tiempo de periodo de cocción es de 67 minutos. En la figura 5.21 se muestra la etapa de inicio en frio.

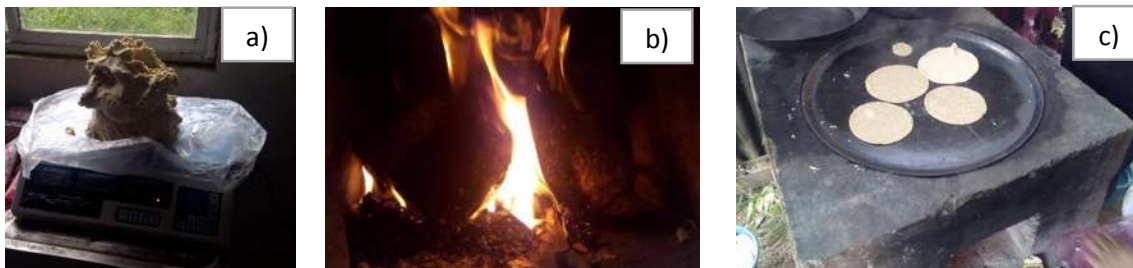


Figura 5.5. a) Determinación del peso de la masa de maíz, b) Combustible utilizado para cocción, c) Tortillas calentándose

En esta primera fase el combustible tardo alrededor de 10 minutos en empezar a combustionar y calentar el comal, al no tener la temperatura adecuada las tortillas se empezaron a pegar sobre el comal, después de 23 minutos la combustión empezó a mejorar y las tortillas se empezaron a calentar de una mejor manera.

La figura 5.22 muestra la cocción de las tortillas en un estado de inicio en fase caliente, esto es cuando el dispositivo estuvo trabajando previamente, y la temperatura almacenada hace posible la combustión más rápida de las briquetas que fue el caso para esta segunda prueba.



Figura 5.6. a) Determinación del peso de la masa de maíz, b) Combustible utilizado para cocción, c) Tortillas calentándose

La figura 5.23 muestra la cocción de las tortillas en un estado de fase caliente, es la tercera fase para la cocción de las tortillas para esta prueba el dispositivo tiene un mejor rendimiento térmico debido a las dos pruebas anteriores, para esta prueba se utilizó 3,197 g de masa de maíz con 1,697 g de briquetas el tiempo de cocción de las tortillas fue en 58 minutos.



Figura 5.7. a) Determinación del peso de la masa de maíz, b) Combustible utilizado para cocción, c) Tortillas calentándose

Los datos reportados por Medina et al., (2017) sobre las pruebas de cocción de tortillas en una estufa Patsari, para la cantidad de 3 Kg de masa, el tiempo estimado de la cocción de las tortillas fue de 51 minutos $\pm$ 6 minutos, mientras que el tiempo estimado para un dispositivo U-Type fue de 46 minutos $\pm$ 6 minutos el tiempo de cocinado de las tortillas.

Para el caso de esta investigación el tiempo de cocción de las tortillas en un solo dispositivo como es la estufa Patsari, en la primera prueba el tiempo de cocción fue de 67 minutos, mientras que para la prueba 2 el tiempo de cocción fue de 55 minutos, y para la prueba número 3 el tiempo de cocinado fue de 58 minutos. El cual los resultados son similares a los presentados por Medina et al., (2017).

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

De la presente investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Se ha identificado que la producción de residuos maderables en comunidades con vocación maderable es elevado y representa un desecho sin valor agregado. Tal es el caso de la comunidad de Pichátaro, que tiene una producción anual de aserrín de aproximadamente 3,500 Tn y de viruta de aproximadamente 5,400 Tn. Por lo que el potencial de aprovechamiento y de generación de valor agregado y energético para estos desechos es alto.
- Se obtuvieron los parámetros óptimos que determinan briquetas con mayor poder calorífico: 1 litro de agua, 255 g a 300 g viruta y aserrín, y de 255 g a 283 g fécula de maíz. y de dimensiones de 9 a 10 cm de altura por 7.2 cm de diámetro con geometría cilíndrica. Estos parámetros alcanzan valores de 17.01 MJ/Kg a 18.32 MJ/Kg, similares a los reportados en combustibles maderables como la leña.
- Se desarrolló un sistema mecánico para la fabricación de briquetas de aserrín y viruta. Este sistema incluyó un diseño fácil de replicar, económico y de uso sencillo, por lo que representa una propuesta preliminar para producción a pequeña escala del biocombustible en cuestión.
- La evaluación del desempeño energético y de emisiones en dispositivos de uso final utilizados para tareas de cocinado, mostró que el uso de briquetas es una alternativa de menor impacto ambiental en términos de emisiones de CO₂, CO, Metano y PM_{2.5} comparado con la leña. Adicionalmente se observó que el desempeño de briquetas para WBT es mejor, lo mismo para la eficiencia térmica. En pruebas de CCT las briquetas conservan mejores desempeños.
- Se infiere que el mejor desempeño en tareas de cocción en el sector residencial no sólo depende de combustibles eficientes con menores impactos ambientales, también es necesario el empleo de dispositivos de uso final eficientes. Lo cual se pudo comprobar de forma comparativa, evaluando

diferentes dispositivos de uso final con leña y briquetas, obteniendo mejores resultados para este último biocombustible en pruebas WBT y CCT.

- En lo que se refiere a la transferencia de la tecnología, en términos económicos resulta positiva y rentable, ya que el costo de producción por briketa es en promedio de \$1.37 a \$1.43 mientras que el precio de la leña convencional para el caso de la leña de pino es de \$1.50 por unidad, mientras que la leña de encino es de \$2.00 por unidad. Por lo tanto, la desviación estándar entre los combustibles es de 0.27, lo cual podemos decir que el precio entre cada combustible varia muy poco.
- La generación de bioenergía es un proceso en el que intervienen tres aspectos fundamentales lo social, lo económico y lo ambiental, para poder planificarse de forma multidisciplinaria su producción, uso y explotación. Es importante vincular las normas de sostenibilidad a las políticas de biocombustibles. Para fines de esta investigación el diagnóstico realizado, muestra un gran interés por parte de la población de Pichátaro, sobre el aprovechamiento de este residuo en algo productivo como lo son las briquetas, como una forma alterna de cocción y calentamiento a la forma convencional. El gobierno a nivel local como lo es la autonomía de Pichátaro pudiera ser el enlace perfecto para generar proyectos en desarrollo de biocombustibles sólidos y promover la generación de micronegocios para un cierto sector de la población, ya que el recurso maderable residual existente puede abastecer la generación de biocombustibles sólidos. La investigación realizada muestra que es viable económicamente, ambientalmente no es tan contaminante, y socialmente es atractivo para los posibles consumidores, con ello las políticas locales pudieran ser el incentivo para la generación de este tipo de proyectos de carácter ambiental y social, y con ello acercarnos cada vez más a los objetivos promulgados por la ONU en la agenda 2030, y acercarnos más a una transición energética, partiendo de lo local a lo global.
- En síntesis, se ha identificado que el aserrín y viruta como residuo es una excelente materia prima para elaborar briquetas. El uso de este residuo incrementa el potencial de aprovechamiento de los biocombustibles sólidos

procesados reduciendo los impactos al ambiente. Se puede realizar la fabricación de este biocombustible a través de métodos asequibles y de bajo costo, además de que el desempeño de estos es óptimo para actividades básicas de cocción en el sector residencial, principalmente rural. Finalmente, estos biocombustibles son potencialmente escalables y pueden derivar en una línea de producción, que incentive la generación de valor agregado a desechos maderables, generación de empleos y promoción de fuentes renovables de energía.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar ajustes al diseño de la briqueteadora para facilitar la introducción de los materiales a los moldes de las briquetas, pudiéndosele adaptar una especie de tolva así como algunos mecanismos de engranaje para incrementar la producción, y disminuir el costo por unidad de cada briqueta.
- Desarrollar e implementar protocolos para producir, evaluar y transferir el uso de briquetas en dispositivos de uso final en condiciones de campo, las cuales tienen un impacto directo en la salud de los usuarios. Así pues, con lo anterior se pueden estimar las tasas de emisión de diferentes gases producidas por las briquetas y determinar qué tan viable (ambientalmente) es la utilización de este biocombustible.
- Diseñar y construir un dispositivo de uso final de cocción, adecuado a las briquetas para tener un mejor parámetro sobre la eficiencia térmica, ambiental y funcionalidad de este biocombustible.
- Impulsar acciones estratégicas para generar el aprovechamiento, producción y consumo de los biocombustibles sólidos, derivados de residuos maderables en las comunidades rurales a través de un estudio de mercado detallado para el consumo de briquetas, y determinar la viabilidad económica de este combustible.

- Realizar la comparación de las briquetas con otros biocombustibles sólidos en (combustión emisión y proceso de fabricación), producidos a base de residuo maderable de cualquier especie.
- Generar talleres de información en materia de biocombustibles sólidos ya que el éxito de las briquetas dependerá de su uso, partiendo desde la misma comunidad.
- Llevar a cabo relaciones estratégicas con el gobierno autónomo local de la comunidad de Pichátaro para generar proyectos de investigación que promuevan el aprovechamiento y desarrollo de biocombustibles sólidos a partir del residuo maderable generado en la misma comunidad.

TRABAJO FUTURO

Como continuidad al presente trabajo, se pretende realizar seguimiento a las recomendaciones mencionadas, profundizando en aspectos físicos-energéticos, económicos y ambientales. Lo cual abonara a los trabajos y productos verificables en los anexos D y E, como son:

- Artículos publicados en memorias arbitradas sobre Briquetas.
- Reconocimientos recibidos durante el posgrado (premios).

Así mismo, el trabajo futuro coadyuvara en los trabajos de colaboración realizados hasta ahora, como pueden verificarse en los anexos F. Como son:

- Trabajos publicados en memorias arbitradas como parte de la colaboración con diferentes instituciones.

BIBLIOGRAFÍA

Alemán-Nava, Gibrán S; Casiano-Flores, Victor H; Cárdenas-Chávez, Diana; Díaz-Chávez, Rocío; Scarlat, Nicolae; Mahlkecht Jürgen; Dallemand, Jean-Francois; Parra, Roberto. (2014). Renewable energy research progress in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 140–153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.004>.

Antwi-Boasiako, C; & Acheampong, B.B. (2015). Strength properties and calorific values of sawdust-briquettes as wood-residue energy generation source from tropical hardwoods of different densities: *Biomass and Bioenergy*, 85: 144-152.

Argueta, A. (2008). Los saberes purhépecha. Juan Pablos. México, D.F.

Atencio, J.L; Fernández, J.A. (2007). Efecto del uso de viruta, cascarilla de arroz y arena como materiales de cama sobre la productividad de pollos de engorde. Tesis profesional, Facultad de Ciencia y Producción Agropecuaria, Universidad Zamora. Honduras.

Barahona, L. (2011). Poder calorífico de la briqueta vegetal. Recuperado de: http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/us_lista_archivos_de_curso.asp?idc23&ids=12&tipo=G&txt=xyz&id_cd=449&page=1.

Barbosa, F. (2009). Ford, Briquetas, Asadores. Recuperado de <http://cein.inaoep.mx/panchon/index.php?topic=135.0>

Berrueta, V; Edwards, R; Masera O. (2008). “Energy performance of woodburning cookstoves in Michoacan, Mexico”, *Renewable Energy*, 33, 859–870.

BRIEC. (2011). Briquetas Ecológicas Crevillent. Recuperado de <http://briquetasbriec.com/ES/index.php>.

Carrillo, A; & Rutiaga-Quiñones, J.G. (2016). Los Biocombustibles Sólidos (1nd ed.). Monterrey, México. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Carrillo; A. Contreras, E; Pérez, E; Bustamante, V; Corral, J.J; Goche J.R. (2016). *Briquetas. Biocombustibles sólidos*, (1nd ed.). Monterrey, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. 139-159 pp.

Chapela, F; (2012). *Estado de los bosques de México, México, D.F*; Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C.

Chen, L; Xing, L; Han, L. (2013). *Renewable energy from agro residues in China: Solid biofuels and biomass briquetting technology*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2689-2695.

Chicago. (2007). *Estudio de mercado para las briquetas de carbón y carbón vegetal en el mercado de los estados unidos*. Consulado de la Republica Argentina en Chicago.

Chum, H; Faaij, A; Moreira, J; Berndes, G; Dhamija, P; Dong, H; Gabrielle, B; Goss Eng, A; Lucht, W; Mapako, M; Masera Cerrutti, O. (2011). Bioenergy. In *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Concepción, R. R. F; Chonillo, R. A; Lorenzo, A. F; Morales, S. C. (2016). Determinación de las potencialidades de aserrín en la ciudad de guayaquil como materia prima para la producción de diversos surtidos en la industria forestal. *HOLOS*, 32,105-114.

Correa, F; Carrillo, A; González, H; Jurado, E; Márquez, F; Garza, F; & Rutiaga J.G. (2014). *Contenido de humedad y sustancias inorgánicas en subproductos maderables de pino para su uso en pélets y briquetas*. Revista chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, (XXIII): 243-260. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.06.040>

CREFAL (Centro de Cooperación Regional para la Educación de Adultos en América Latina y el Caribe). 2000. Monografía de Pichátaro. Centro de Cooperación Regional para la Educación de Adultos en América Latina. Pátzcuaro, Mich. México.

Estévez, R. (2014). La guía de la biomasa para tu casa. Disponible en <http://www.ecointeligencia.com/2014/12/guia-biomasa-para-tu-casa-3/>.

Estrada, Gasca, C., & Islas, Samperio, J. (2010). Energías Alternas: Propuesta de Investigación y Desarrollo Tecnológico para México. México D.F: D.R. © 2010. Academia Mexicana de Ciencias.

FAO. (2010). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Estudio FAO Montes 163. <http://www.fao.org/docrep/013/1757s/i1757s.pdf>.

Fernández, J. (2013). La energía de la biomasa. Energías renovables para todos, Biomasa. Colección elaborada Haya comunicación. Serie de manuales de energías renovables. Disponible en: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos-biomasa.pdf>.

Fonseca, C.E.G; Tierra, T.L.F. (2013). Desarrollo de un proceso tecnológico para la obtención de briquetas de aserrín de madera y cascarilla de arroz, y pruebas de producción del gas pobre. Tesis profesional. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 142 p.

Francisco-Arriaga, Fidel; Guerrero, García-Rojas, Hilda, R., Kido-Cruz, Antonio; & Cortés-Zavala, María Teresa. (2011). Ingreso generado por la recolección de recursos forestales en Pichátaro, Michoacán, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 8(1), 107-117. Recuperado en 05 de junio de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722011000100006&lng=es&tlng=es.

Gallipoliti, V; Martina, P; Corace, J; Aeberhardt, R; García, E. (2013). Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, 6, 35-40. Recuperado de <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/index.php>.

García, Carlos A; Masera, Omar. (2016). *Estado del arte de la bioenergía en México*. Red Temática de Bioenergía (RTB) del CONACYT.

García, Carlos A; Riegelhaupt, Enrique; Ghilardi, Adrián; Skutsch, Margaret; Islas, Jorge; Manzini, Fabio; Masera, Omar. (2015). Sustainable bioenergy options for Mexico: GHG mitigation and costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 545–552. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.062>.

García, M. (2014). Diseño de proceso y de planta piloto para fabricación de Briquetas de Aserrín. Tesis de pregrado en Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Piura, Perú.

Gaurav, N; Sivasankari, S; Kiran, GS; Ninawe, A; Selvin, J. (2017). *Utilization of bioresources for sustainable biofuels: A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 205–214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.070>.

Gbabo, A; Alake, S; Ndudi, A.E. (2015). Development and testing of a disc actuated briquette production machine from sugarcane bagasse and other agricultural wastes. *International Journal of Emerging Technology & Research*, 2, 129-140.

Goche, J.R; Domínguez, P.A; Montiel, E; Palacio, C. (2016). Capítulo 1. Biocombustibles sólidos una opción sustentable para la producción de energía. In: Biocombustibles sólidos. Carrillo y Rutiaga (2016) (1nd ed.). Monterrey, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. 9-30 pp.

Guardado, G.M.B; Rdriguez, R.S.N; & Monge H.L.E. (2010). *Evaluación de la calidad del carbón vegetal producido en hornos de retorta y hornos metálicos portátiles en el salvador*. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”. Antiguo Cuscatlán, El Salvador. 67 p.

Guo, Mingxin; Song, Weiping; Buhain, Jeremy. (2015). Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 712–725. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.013>.

Herrera, J. (2012). *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026*. Libro de publicación de la secretaria de energía. México, D.F.

IEA; (2012). Technology Roadmap. Bionergy for Heat and Power, parís:international Energy Agency.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2010. Censo de Población y Vivienda.

IRENA, (2014). *Global Bioenergy. Supply and Demand Projections. A working paper for Remap 2030, Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency*

IRENA, (2015). *Renewable Energy Prospects: Mexico. Remap 2030 analysis, Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency*. Johnson, T. et al., 2009. México: Estudio sobre la disminución de emisiones de carbono, Washington DC: Banco Mundial y Mayol Ediciones S.A

Johnson, T.M; Alatorre, C; Romo, Z; & Liu, F. (2009). México estudio sobre la disminución de emisiones de carbón (MEDEC). *México, Banco Mundial-Eds. Mayol*.

Kaliyan, N; More, V. (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products biomass and bioenergy, 33, 337-359.

Kiss, I & Alexa, V. (2014). Short in trospections regarding the sawdust briquetting as sustainable solution for the environment. *Analecta*. Vol, 8, No. 2 ISSN 2064-796472.

MacCarty, N; Ogle, D; Still, D; Bond, T; Roden; C. (2008). “A laboratory comparison of the global warming impact of five major types of biomass cooking stoves”, *Energy Sustainable Dev.*, 12, 5–14.

Martínez, A.L. (2015). Determinación de las Propiedades Fisicoquímicas y Mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, desechos sólidos, vacasa y TetraBrik, utilizando almidón y cal como Aglutinantes. Tesis profesional de Licenciatura en Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Masera, O & García, C; (2016) *Estado del Arte de la Bionergía en México*. Red Temática de Bionergía (RTB) del CONACYT.

Masera, O; Coralli, F; García, C; Riegelhaupt, E; Arias, T; Vega, J; Díaz, R; & Guerrero, G; Cecotti, L. (2011). *La Bioenergía en México*. (4th ed.). Red Mexicana de Bioenergía, A.C. México. 40 pp.

Medina, P.C. (2017). *Evaluación de la contribución de emisiones y de los parámetros de rendimiento de las estufas eficientes de leña mediante los protocolos WBT/CCT y durante ciclos de cocinado controlado*. Tesis profesional de doctorado de la Facultad de Ingeniería Química. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán, Mexico.

Medina, P; Verrueta, V; Martínez, M; Ruíz, V; Edwards, R.D; Masera, O. (2017). *Comparative performance of five Mexican plancha-type cookstoves using water boiling tests*. Development Engineering. Energy Reviews, 20, 20-28. Journal homepage. <http://dx.doi.org/10.1016/j.deveng.2016.06.001>.

Medina, P; Verrueta, V; Martínez, M; Ruíz, V; Ruíz-Mercado, I; Masera, O. (2017). *Closing the gap between lab and field cookstove tests: Benefits of multi-pot and sequencing cooking tasks through controlled burning cycles*. Energy for Sustainable Development 41, 106–111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2017.08.009>

Mehetre, Sonam A; Panwar, N.L; Sharma, Deepak; Kumar, Himanshu. (2017). Improved biomass cookstoves for sustainable development: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 672–687. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.150>.

Mejía, F. (2011). Implicaciones ambientales en el uso de la leña como combustible doméstico en la zona rural de Usme. Bogotá, D.C., Colombia.

Ngangyo, M; Foroughbakhch, R; Carrillo, A; Salas, L.R. (2016). Capítulo 5. Conceptualización y caracterización de los pellets madereros en el marco del desarrollo sustentable. Biocombustibles sólidos. In: Biocombustibles sólidos. Carrillo y Rutiaga (2016) (1nd ed.). Monterrey, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. 121-136 pp.

Omar R. Masera Cerutti, J. E. (2012). La Bioenergía en México, Un Catalizador del Desarrollo Sustentable. México: Red Mexicana de Bioenergía.

Ordoñez, J.L; (2014). Pellets: Energía Limpia con buen futuro. *Revista M&M*, 83, 76-84. Recuperado de: http://www.revista-mm.com/ediciones/rev83/insumo_pellets.pdf.

Organización de las Naciones Unidas Nueva York. (2017). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2017*. Nueva York, city: Publicación de las Naciones Unidas emitida por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales (DESA) e-ISBN: 978-92-1-361717-5.

Orihuela, R; Reyes, L.A; Rangel, J.R; Chávez, M.C; Márquez, F; Correa, F; Carrillo, A; Rutiaga, J.G. (2016). Capítulo 11. *Elaboración de briquetas con residuos maderables de pino*. In: Química de los materiales lignocelulósicos y su potencial bionergético. Rutiaga y Carrillo (1nd ed.). Sierke Verlag.

Ortiz, L. (2006). *Xiloenergética*. Ed. Gamesal. Vigo. 370pg.

Ortiz, L; Tejeda, A; Vázquez, A; Piñeiro, G. (2003). *Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena monte-industria II: Producción de elementos densificados*. Revista del centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la madera de Galicia CIS-madera 11: 17-32.

Pasache, AM; Sanchez, RE. (2013). Análisis de caso de estudio del uso de briquetas de aserrín en familias que usan leñas y carbón en la zona de Piura y sullana Perú. Eleventh LACCEI Latin America and Canibbean Conference for Engineering and tecnologia (LACCEI2013) "Innovation in Engineering. Technology and Education for Competitiveness and prosperity" August 14. 16 2013 Cancún, México. PEMS 2012, "Instructions for Use of the Portable Emissions Monitoring System (PEMS)". Aprovecho Research Center.

Pérez-Denicia, Eduardo; Fernández-Luqueño, Fabián; Vilariño-Ayala, Darnes; Montañó-Zetina, Luis Manuel; Maldonado-López, Luis Alfonso. (2017). Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 597–613. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.009>.

Pérez-Pérez, JE. (2015). Análisis físico-mecánico de briquetas elaboradas con residuos de la industria forestal. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 38p.

Rodríguez, R; Sierens, R; Verhelst S. (2009). *Evaluación cinética de la descomposición térmica de diferentes tipos de biodiesel mediante termogravimetría*. CENIC Ciencias Químicas, Vol. 40, No. 3, 2009.

Recuperado de: <https://www.google.com.mx/maps/place/San+Francisco+Pich%C3%A1taro,+Mich./@19.571534,101.8188465,15z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x842dc2fe9b6b60f5:0x97c2ee3d8ec1dca8!8m2!3d19.5728699!4d-101.8071199>

Recuperado de: <http://mexico.pueblosamerica.com/i/san-francisco-pichataro-pichataro/>
Fuente: International Energy Agency. 2012. World Energy Balances.

Recuperado de: <http://www.renovablesverdes.com/la-torrefaccion-de-biomasa-llega-a-guipuzcoa/>

Recuperado de: <http://usuarios.lycos.es/biodieseltr/hobbies4.html>

Recuperado de <https://www.hargassner.es/2015/11/20/astillas-un-recurso-para-producir-energia-de-biomasa/>

Recuperado de: <http://carbonbiomasa.pucp.edu.pe/centro-de-investigacion/divisiones-de-trabajo/division-de-desarrollo-de-biocombustibles-solidos-pellets-y-briquetas/>

Real Academia Española (RAE). (2001). Diccionario de la lengua española. Diccionario de la lengua española (22ª. ed.). Recuperado de <http://lema.rae.es/drae/>.

- Real Academia Española. (2001). Diccionario de la lengua española (22.a ed.). Madrid, España: Autor.
- REMBIO; (2011). *La Bienergía en México, Situación actual y perspectivas, México*. Red Mexicana de Bionergia.
- Reyes, L.A; Orihuela, R; Aviña, L.J; Pérez, E; Carrillo, A; Rutiaga, J.G. (2016). Capítulo 2. Generalidades sobre los biocombustibles. In: Biocombustibles sólidos. Carrillo y Rutiaga (2016). (1nd ed.). Monterrey, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. 33-62 pp.
- Rincón, M. E. (2010). Aplicaciones de la óptica anidólica en concentradores solares. Universidad Autónoma de la ciudad de México. Programa de Energía 18 de febrero.
- Rios, M & Kaltschmitt, M; (2013). *Bionergy potential in Mexico-status and perspectives on a high spatial distribution. Biomass Conversion and Biorefinery*, 3 (3), pp. 239-254.
- Rivas, R.C.V; & Morales, Q.L. (2001). Coeficiente de aserrío para un aseradero de sierra banda en Cebollas, Durango. Memorias del V congreso Mexicano de Recursos Forestales. San Luis Potosí, México. 31-32 pp.
- Ruíz-García, V.M. (2018). *Evaluación comparativa del desempeño energético, emisiones intramuros y a la atmosfera de diferentes modelos de estufas eficientes de leña*. Tesis profesional de doctorado de en Ingeniería, Energía y Medioambiente. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Secretaria de Energía SENER. (2015). Diario Oficial de la federación. México, D.F.
- Secretaria de energía SENER. (2015). Prospectiva del Sector Eléctrico 2015–2029.
- Secretaria de Energía SENER. (2017). *Prospectiva de Energías Renovables 2017-2031*.
- Shuma, R; Madyira, D.M. (2017). Production of loose biomass briquetts from agricultural and forestry residues. *Processing and Manufacturing*, 7, 98-105. [doi: 10.1016/j.promfg.2016.12.026](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.12.026).
- Somoza, L; Vega-Nieva, D; Ortiz L. (2014). Quality control of wood chips and wood pellet from the combustion conditions of herbaceous biomass. *Fuel processing Technology* 90(6): 839- 847. [doi: 10.1016/j.fuproc.2009.03.001](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.03.001).
- Su, Yujie; Zhang, Peidong; Su, Yuqing. (2015). An overview of biofuels policies and industrialization in the major biofuel producing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 991–1003. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.032>.
- Tripathi, AK; Iyer PVR; Kandpal TC. (1998). *A Techno-economic evaluation of biomass briquetting in India*. *Biomass and Bionergy* 14 (5-6): 479-488.
- UNE-EN 14774-1. (2010). Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido de humedad. Parte 1: Humedad tota. AENOR. Madrid, España. 10p.
- UNE-EN 14775 (2010). Biocombustibles sólidos. Método para la determinación del contenido de cenizas. Asociación Española de Normalización y Certificación. AENOR. Madrid, España. Septiembre, 2010. 10p.

UNE-EN 15103. (2010). Biocombustibles sólidos. Determinación de la densidad a granel. AENOR. Madrid, España. 13p.

UNE-EN 15148. (2010). Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido de materias volátiles. AENOR. Madrid, España. 13p.

UNE-EN 15149-1. (2011). Biocombustibles sólidos. Determinación del tamaño de partícula. Parte 2: método del tamiz vibrante con abertura de malla inferior o igual a 3.15mm. Asociación Española de normalización y certificación. AENOR, Madrid, España. 15p.

Valderrama, A., Herve, C., & Cesar, Q. (2013). Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calorífica en cocinas no convencionales. Perú: Centro de desarrollo e investigación en Termofluidos.

Van Dael, Miet; Lizin, Sebastien; Swinnen, Gilbert; Van Passel, Steven. (2017). Young people's acceptance of bioenergy and the influence of attitude strength on information provision. *Renewable Energy*, 107, 417-430. journal homepage.

Vega, D; Ortiz, L; Rodríguez, J.L; García, A; Bustamante, V; Carrillo, A; Lopez, C; Corral, J.J; (2016). Capítulo 4. Certificación de la calidad de astillas y pellets como biocombustibles para la generación de calor renovable según las normas de calidad ISO y la certificación ENPLUS. In: Biocombustibles Sólidos. Carrillo y Rutiaga (2016). (1nd ed.). Monterrey, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. 89-119 pp.

Vega-Nieva, D; & Ortiz, L. (2013). Biocombustibles sólidos: Caracterización y normas UNE. Biomasa Forestal y Bioenergía. 22-26.

Vendejo, M. (2007). Desarrollo sustentable y sostenido un reto. reflexiones y avances hacia un desarrollo sustentable en México.

Vera, A. (2014). Diseño de briquetas ecológicas para la generación de energía calórica y mejoramiento de ecosistemas en el corregimiento de Nabusimake, Municipio de Pueblo Bello-Cesar. Tesis profesional. Programa de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Abierta y a Distancia—Una Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Medellín, Colombia. 80 p.

Zhang, J & Smith K. (1999). "Emissions of carbonyl compounds from various cookstoves in China". *Environ. Sci. Technol.*, 33 (14), 2311–2320.

ANEXOS



ANEXO A Instrumento de evaluación (diagnostico comunitario)

“Aprovechamiento del aserrín y viruta de pino (*pinus spp*) para la producción y evaluación de briquetas, como energía alterna en la comunidad de San Francisco Pichátaro, Michoacán”

Objetivo: caracterizar el consumo, desperdicio y aprovechamiento de la madera en los talleres artesanales de pequeñas dimensiones de la comunidad de San Francisco Pichátaro. Estos resultados servirán para determinar cuanta cantidad de residuos maderables se producen en la comunidad, que uso le dan si acaso tiene, y con ello dimensionar la mitigación alcanzable con la producción de briquetas, y reportar en la literatura científica los datos de desperdicio maderable y ser un referente proyecto ecotecnológico posiblemente replicable en otras comunidades, que consuman madera para diferentes actividades.

DIAGNÓSTICO DE DESPERDICIO DIFERENTES RESIDUOS MADERABLES

Comunidad: Barrio:
Municipio: Teléfono:
Nombre del taller:

Datos del encuestado

Nombre: Ocupación:
Domicilio:
Edad: ¿Habla alguna lengua indígena? () SI () NO ¿Cuál?

Datos del taller: (Marque con una X donde sea necesario)

1. El taller donde trabaja es: () Propio () Prestado () Arrendado () Otro (Especifique)
2. El taller está en el lugar donde vive (comparte la casa con su taller?) () SI () NO
3. ¿Qué dimensiones tiene su taller? {m ² }
4. ¿Tiene empleados en su taller? () SI () NO ¿Cuántos?
5. Número de miembros que dependen económicamente del taller:
6. ¿Cuántos miembros en la familia participan en el taller?
7. ¿Cuáles son las actividades principales que realizan en su taller?
Corte y de madera () Secado de madera () Tallado de Madera () Cepillado de madera ()
Ensamble de muebles () Pintado de muebles () Otros (especifique)

Del consumo maderable



8. ¿Qué tipo de madera utiliza en su taller? () Encino () Pino () Madroño () Parota () Otro (especifique): _____
9. La madera que utiliza en su taller es () comprada () regalada () la extrae del cerro
Otro (especifique): _____
10. ¿De dónde obtiene la madera?
() De la comunidad donde vive
() De una comunidad vecina (cuál) _____
() Otro (especifique): _____
11. Para su taller, ¿cuanta madera estima que consume cada semana?
Especifique e indique la unidad de Tablas, Kilogramos, Metros cúbicos
etc. _____
12. En caso de comprar la madera, ¿cuánto le cuesta en promedio por semana la madera que consume? _____

Del residuo maderable que se genera en su taller

13. ¿Cuál es el residuo maderable que se genera más en su taller? () Aserrín () Viruta () Astilla Otro (especifique) _____
14. ¿Usted utiliza el residuo maderable para alguna actividad? Cuál residuo _____
() Cocinar () Calentar agua () secar madera Otro (especifique) _____
15. ¿Qué destino tiene el residuo maderable que se genera en su taller?
() lo quema al intemperie
() lo usa de relleno sanitario
() lo usa de abono
16. Comercializa algunos de estos aserrines ¿Cuál? _____ ¿a quién?
(especifique) _____ y ¿Cuánto (\$)? _____
17. Cuántos costales de los diferentes residuos maderables genera a la semana en su taller
Aserrín _____
Viruta _____
Astilla _____
Otro (especifique) _____

Tabla de análisis para determinar el desperdicio de diferentes residuos maderables por semana

Costales	Peso en kilogramos	Costales por semana	Kilos de residuo maderable por semana	Observaciones (anote el tipo de residuo maderable)
Costal 1				
Costal 2				
Costal 3				

ANEXO B Datos sobre la granulometría de las muestras de residuo maderable (aserrín y viruta)

MALLA								
MUESTRA	3.35	2.8	2	1.4	1	0.5	0.25	fino
V1.1	30.5	5.13	5.56	3.79	1.96	2.34	0.85	0.61
V1.2	32.2	5.59	5.53	3.74	1.72	1.62	0.43	0.35
V1.3	34.5	5.47	3.4	3.24	1.41	1.16	0.28	0.26
RETENCION	64.138048	10.6780703	9.53370687	7.09782882	3.35313294	3.37003676	1.02617751	0.80299887
DESVEST	4.75844599	0.49324504	2.33554592	0.50991939	0.51351627	1.15305461	0.57889047	0.3549653
MUESTRA VIRUTA								
V2.1	33.32	5.64	4.75	3.27	1.51	1.54	0.62	0.51
V2.2	31.25	5.63	5.28	3.7	1.8	2.09	0.89	0.62
V2.3	30.6	2.8	5.22	2.96	1.39	1.78	0.9	0.62
RETENCION	64.0754284	9.3529659	10.2888782	6.66901656	3.15571364	3.64480083	1.63107856	1.18211792
DESVEST	2.74123271	2.85928125	0.99855541	0.4755315	0.30924824	0.56154127	0.37775432	0.17317793
MUESTRA VIRUTA								
V3.1	37.78	7.03	3.34	1.42	0.57	0.54	0.27	0.26
V3.2	36.27	7.52	4.17	1.81	0.73	0.64	0.26	0.26
V3.3	33.65	6.75	4.69	2.71	1.27	1.36	0.59	0.42
RETENCION	69.7999104	13.8021962	7.90386376	3.84828251	1.66501507	1.645736	0.72583295	0.6091631
DESVEST	4.19431111	0.72020515	1.30577236	1.28288419	0.71215969	0.86930073	0.36490962	0.17955984
MUESTRA VIRUTA								
V4.1	38.96	3.37	1.85	0.75	0.27	0.21	0.08	0.17
V4.2	43.13	4.35	2.33	1.13	0.42	0.31	0.11	0.21
V4.3	41.27	5.34	2.63	1.2	0.45	0.36	0.12	0.19
RETENCION	82.7757517	8.70149965	4.54472361	2.04781868	0.75731482	0.58480178	0.20650859	0.38158122
DESVEST	2.64655214	1.51604796	0.52742141	0.3592869	0.14736903	0.11956038	0.0290985	0.01944303
MUESTRA VIRUTA								
V5.1	43.81	1.49	1.31	0.8	0.38	0.44	0.23	0.21
V5.2	42.1	1.79	1.66	1.05	0.59	0.72	0.37	0.25
V5.3	41.32	2.34	2.17	1.42	0.73	0.76	0.35	0.26
RETENCION	86.8311054	3.83050521	3.50310806	2.22824648	1.15858042	1.30922877	0.64806841	0.4911572

DESVEST	3.14373205	0.84906473	0.85577419	0.61937629	0.35272197	0.35202853	0.1542955	0.05201454
---------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-----------	------------

MUESTRA ASERRIN								
A6.1	1.23	0.62	2.21	4.52	6.16	14.85	11.29	6.16
A6.2	1.13	0.83	2.41	4.82	6.34	15.38	10.99	5.33
A6.3	1.26	0.74	2.63	4.73	6.42	15.19	10.84	5.31
RETENCION	2.5604556	1.54861441	5.12743743	9.95080727	13.3812324	32.123256	23.4250174	11.8831794
DESVEST	0.14839788	0.22047828	0.44220211	0.30771981	0.26731352	0.50721549	0.51586205	1.04970444

MUESTRA ASERRIN								
A7.1	0.38	0.21	0.69	2.79	5.55	18.7	12.92	5.83
A7.2	0.33	0.2	0.75	3.04	5.76	18.52	12.63	5.94
A7.3	0.33	0.2	0.74	3	5.68	18.29	12.48	5.82
RETENCION	0.73865764	0.4332934	1.54864186	6.27272813	12.0688853	39.4299449	27.0132054	12.4946432
DESVEST	0.05964145	0.01149303	0.07165495	0.29911364	0.24072196	0.25885135	0.37749383	0.10388694

MUESTRA ASERRIN								
A8.1	0.022	0.016	0.084	0.255	0.982	13.46	17.01	7.11
A8.2	0.023	0.037	0.07	0.21	1.02	14.78	16.97	3.53
A8.3	0.051	0.019	0.091	0.23	1.01	15.04	16.7	3.73
RETENCION	0.08586388	0.06453449	0.21785883	0.61727034	2.68167207	38.5653934	45.0974204	12.6699866
DESVEST	0.0455366	0.03199374	0.02794055	0.04125217	0.14015498	3.47018972	1.32675725	4.8465098

MUESTRA ASERRIN								
A9.1	0.24	0.18	1.17	2.86	4.35	15.98	13.97	8.35
A9.2	0.41	0.29	1.33	2.86	4.3	15.8	8.29	13.82
A9.3	0.31	0.22	1.28	2.78	4.25	15.76	13.95	8.45
RETENCION	0.67987231	0.48865399	2.67708663	6.01975576	9.13591122	33.6684585	25.6473325	21.682929
DESVEST	0.18132119	0.11812367	0.17452359	0.09081328	0.09671672	0.22471262	6.9684665	6.63398159

MUESTRA ASERRIN								
A10.1	0.28	0.41	1.8	3.17	3.88	13.62	12.37	9.49
A10.2	0.29	0.28	1.79	3.33	4.03	13.87	12.47	8.83
A10.3	0.2	0.25	1.81	3.32	4.19	13.86	12.82	8.84
RETENCION	0.569856	0.69548384	3.99407176	7.26332824	8.94912759	30.5845843	27.8540539	20.0894943
DESVEST	0.1117247	0.18980916	0.00573717	0.19719461	0.31750153	0.32264975	0.41995469	0.86073382

ANEXO C. Parámetros utilizados para la cocción de tortillas en un dispositivo de uso final

Anexo C.1 tabla prueba número 1 de la cocción de tortillas

Prueba de cocción de tortillas de masa. Prueba número 1. (INICIO FRIO)										
Dimensiones de la briqueta	7.2 x 9.5 cm	Hora de inicio de la prueba			Domingo 4/10/18		02:00 p. m.	Temperatura ambiente		13 °C
Humedad de la briqueta (promedio)	12.75%	Hora final de la prueba			Domingo 4/10/18		03:07 p. m.	Lugar San Fco. Pichátaro		
Número de briquetas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% de Humedad	12.3	13.2	13	12.6	12.8	13	12.7	12.7	12.4	12.8
Peso de la briqueta	Inicial	2,390 g								
	Final	505 g								
Peso inicial de la masa		3,235 g								
Peso del iniciador		100 g								

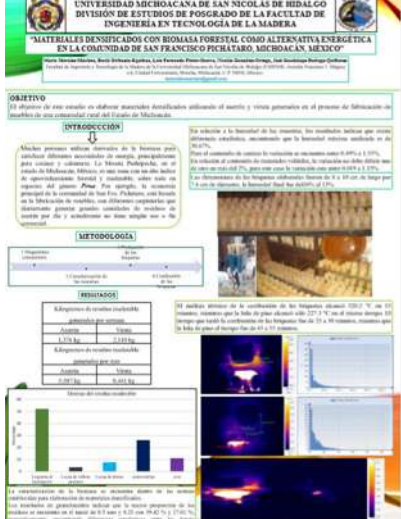
Anexo C.2 prueba número 2 de la cocción de tortillas

Prueba de cocción de tortillas de masa. Prueba número 2. (INICIO CALIENTE)										
Dimensiones de la briqueta	7.2 x 9.5 cm	Hora de inicio de la prueba			Domingo 4/10/18		03:30 p. m.	Temperatura ambiente		12 °C
Humedad de la briqueta (promedio)	12.57%	Hora final de la prueba			Domingo 4/10/18		04:25 p. m.	Lugar San Fco. Pichátaro		
Número de briquetas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% de Humedad	13	12.4	12.5	12.1	12.7	12.6	12.3	13.1	12.4	12.6
Peso de la briqueta	Inicial	2,290 g								
	Final	568 g								
Peso inicial de la masa		2,986 g								
Peso del iniciador		100 g								

Anexo C.3 prueba número 3 de la cocción de tortillas

Prueba de cocción de tortillas de masa. Prueba número 3. (INICIO CALIENTE)										
Dimensiones de la briqueta	7.2 x 9.5 cm	Hora de inicio de la prueba			Domingo 4/10/18		04:40 p. m.	Temperatura ambiente		14 °C
Humedad de la briqueta (promedio)	12.76%	Hora final de la prueba			Domingo 4/10/18		05:18 p. m.	Lugar San Fco. Pichátaro		
Número de briquetas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% de Humedad	12.1	13.1	12.7	13.6	13.1	12.4	13	12.7	12.8	12.1
Peso de la briqueta	Inicial	2,305 g								
	Final	608 g								
Peso inicial de la masa		3,179 g								
Peso del iniciador		100 g								

ANEXO D Artículos Publicados en Memorias Arbitradas sobre Briquetas.

a)  APROVECHAMIENTO DEL ASERRÍN DE PINO PARA LA PRODUCCIÓN DE BRIQUETAS COMO ENERGÍA ALTERNATIVA: CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y ANÁLISIS DE DURABILIDAD POR MASA PRESENTE EN LA COMBUSTIÓN Mario Morales Máximo, José Guadalupe Rutiga Quiñones. Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UNMSH), Avenida Francisco J. Múgica s/n, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, C. P. 58030, México mmoralesmaximo@gmail.com rutiga@umich.mx RESUMEN La presente investigación está dirigida a determinar la mezcla ideal de materia prima para la producción de briquetas a base de aserrín de pino, para su respectivo análisis y determinar las variables relacionadas con las propiedades fisicoquímicas de las briquetas, como lo es, el contenido de humedad y la granulometría. Así mismo como la emisión del poder calorífico en comparación de la leña convencional para su análisis de eficiencia térmica y durabilidad por masa presente en la combustión. Estas briquetas son elaboradas a partir del diseño y construcción de una máquina briquetadora de bajo costo adecuada para lograr la compactación de esta biomasa y transformarlo en un biocombustible sólido sin la utilización de algún aglomerante. Actualmente la situación del uso de leña en algunas regiones del estado de Michoacán es algo preocupante en términos de sustentabilidad, por lo que con esta investigación se busca crear un biocombustible sólido de bajo impacto ambiental y lo más eficiente posible, alterno a la leña convencional. ABSTRACT The present investigation is directed to determine the ideal mixture of raw material for the production of briquettes based on pine sawdust, for its respective analysis and to determine the variables related to the physicochemical properties of the briquettes, as it is: moisture content and granulometry. As well as the emission of the calorific power compared to conventional firewood for its analysis of thermal efficiency and durability per mass present in the combustion. These briquettes are made from the design and construction of a low cost briquette machine suitable to achieve the compaction of this biomass and transform it into a solid biofuel without the use of any binder. Currently the situation of the use of firewood in some regions of the state of Michoacán is somewhat worrisome in terms of sustainability, so this research seeks to create a solid biofuel with low environmental impact and as efficient as possible, alternative to conventional firewood. Palabras clave: Aserrín, viruta, Briquetas, eficiencia térmica. INTRODUCCIÓN La madera, considerada un recurso, es uno de los materiales más nobles con que el hombre ha contado desde su aparición en el planeta.	b)  EVALUACIÓN TERMOGRÁFICA DE LA COMBUSTIÓN DE BRIQUETAS CON AGLOMERANTE VARIABLE DE RESIDUOS MADERABLES DE PINO: ANÁLISIS COMPARATIVO EN FOGONES TRADICIONALES DEL ESTADO DE MICHOACÁN Mario Morales Máximo, Luis Bernardo López Sosa, José Guadalupe Rutiga Quiñones. Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Madera e Instituto de Investigaciones en Metalurgia y Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UNMSH), Avenida Francisco J. Múgica s/n, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, C. P. 58030, México mmoralesmaximo@gmail.com ecobero@gmail.com rutiga@umich.mx RESUMEN El aprovechamiento de la biomasa para la generación de biocombustibles sólidos, es una de las energías renovables más investigadas a nivel mundial. Los recursos de la biomasa para la generación de energía calorífica comprenden una variada gama de fuentes primarias y secundarias principalmente en sectores rurales e indígenas del estado de Michoacán, donde los residuos de la biomasa surgen del aprovechamiento y la industrialización de la madera y los residuos de cultivos agrícolas en esos sectores donde se comprende la mayor concentración de residuos biomásicos para la generación de biocombustibles sólidos. Por ello la presente investigación pretende realizar la comparación térmica con mayor o menor grado de transformación de energía por durabilidad de masa y tiempo presente en la combustión física o química de las briquetas con aglomerante y de la leña convencional, para establecer la emisión de energía térmica desprendida con respecto a la humedad de cada combustible mediante pruebas experimentales en un sistema de aislamiento térmico y una cámara termográfica con la finalidad de determinar cuál combustible es térmicamente más efectivo. ABSTRACT The use of biomass for the generation of solid biofuels is one of the most researched renewable energies in the world. The biomass resources for the generation of heat energy comprise a wide range of primary and secondary sources, mainly in rural and indigenous sectors. In the state of Michoacán, where biomass residues arise from the use and industrialization of wood and agricultural crops residues, is in those
c)  MATERIALES DENSIFICADOS CON BIOMASA FORESTAL COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA EN LA COMUNIDAD DE SAN FRANCISCO PICHÁTARO, MICHOACÁN, MÉXICO Mario Morales Máximo, José Guadalupe Rutiga Quiñones, Luis Bernardo López Sosa, Víctor Ruiz García, Omar Masera Cerutti. Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Madera e Instituto de Investigaciones en Metalurgia y Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UNMSH), Avenida Francisco J. Múgica s/n, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, C. P. 58030, México mmoralesmaximo@gmail.com ecobero@gmail.com rutiga@umich.mx OBJETIVO El objetivo de esta tesis es elaborar materiales densificados utilizando el aserrín y viruta generados en el proceso de fabricación de muebles de una comunidad rural del Estado de Michoacán. INTRODUCCIÓN La madera es la base de la vida de los seres vivos, los resultados indican que existe un potencial energético considerable que la biomasa residual maderable en el 100%. METODOLOGÍA Se realizó un estudio de campo en la comunidad de San Francisco Pichátaro, Michoacán, México, en el estado de Michoacán, México, en este caso se usó un método de densificación térmica y química, entre otros se usó el método de la prensa. Por ejemplo, la densificación térmica se realizó en un horno de 150°C, entre otros se usó el método de la prensa. Por ejemplo, la densificación térmica se realizó en un horno de 150°C, entre otros se usó el método de la prensa. RESULTADOS Se elaboraron 10 briquetas de 100g cada una, con un contenido de humedad del 100%.	d)  ANÁLISIS DE LA COMBUSTIÓN DE BRIQUETAS DE BIOMASA FORESTAL EN UN FOGÓN TRADICIONAL Olmo Fierros Peraza¹, Mario Morales Máximo², Víctor Ruiz García³, Omar Masera Cerutti⁴ Eje Temático: 2 – Mesa: 7 Resumen El presente trabajo muestra el análisis de la eficiencia de combustión de briquetas elaboradas a partir de la biomasa forestal residual, utilizadas en un fogón tradicional, así como sus respectivas emisiones asociadas al proceso de combustión. Las briquetas se han realizado a partir de los residuos maderables obtenidos en talleres de muebles artesanales de madera, provenientes de la comunidad de San Francisco Pichátaro, Michoacán. Los resultados de la investigación se comparan con la utilización de leña convencional. Considerando el contexto de varias comunidades indígenas del estado de Michoacán, en las que el fogón de leña tradicional es utilizado para cocinar, se ha estudiado el comportamiento de las briquetas desarrolladas de residuo maderable (<i>pinus spp.</i>), como posible complemento en dicha actividad. Se realizaron pruebas para determinar la eficiencia en la combustión de las briquetas, analizando la energía de éstas a través de la medición del consumo de biocombustible necesario para cumplir una actividad específica. Posteriormente se ha realizado un análisis comparativo con leña convencional, haciendo también un análisis de las emisiones producto de la combustión. El objetivo principal de esta investigación es la

a), b) Memorias arbitradas del XLII Congreso la semana nacional de energía solar (2018) ISSN: 2448-5543, c) Memorias arbitradas del congreso Reunión de Redes de Bioenergía (2018), d) Memorias arbitradas del 13° Congreso de Ciencia, Tecnología e Innovación (2018).



Mención honorífica en el premio michoacano de la juventud 2018



**Instituto
de la Juventud
Michoacana**
GOBIERNO DEL ESTADO DE MICHOACÁN



Otorgan la presente

MENTIÓN HONORÍFICA

a **Mario Morales Máximo**

Por su participación en el

Premio Michoacano de la Juventud 2017

en el área

Promoción de los Derechos y Culturas indígenas

Categoría B

Morelia, Michoacán, a 13 de septiembre del 2017



Guillermina Bugasini Torres
Directora General del
Instituto de la Juventud Michoacana



El Gobierno Constitucional del Estado de Michoacán de Ocampo

otorga al:

**Grupo Multidisciplinario de
Investigadores Indígenas para el
Desarrollo de Tecnologías Sustentables**

**El Premio Estatal de Ciencia,
Tecnología e Innovación, 2017**

Modalidad Vinculación

Por su destacada participación en las actividades de vinculación
en beneficio del desarrollo del Estado.

Morelia, Michoacán, 5 de Octubre de 2017.


Ing. Silvano Aureoles Conejo
Gobernador Constitucional del Estado



El Tecnológico de Monterrey
y el
Patronato del Premio
otorgan el

PREMIO *Luis Elizondo*
AL SENTIDO HUMANO
TECNOLÓGICO DE MONTERREY
2018

en la categoría
Humanitario para Agrupaciones Estudiantiles
al

**Colectivo Centro Juvenil para el Desarrollo de Ecotécnicas
de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

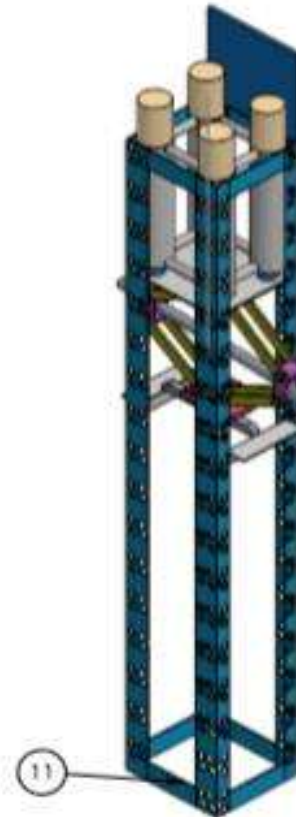
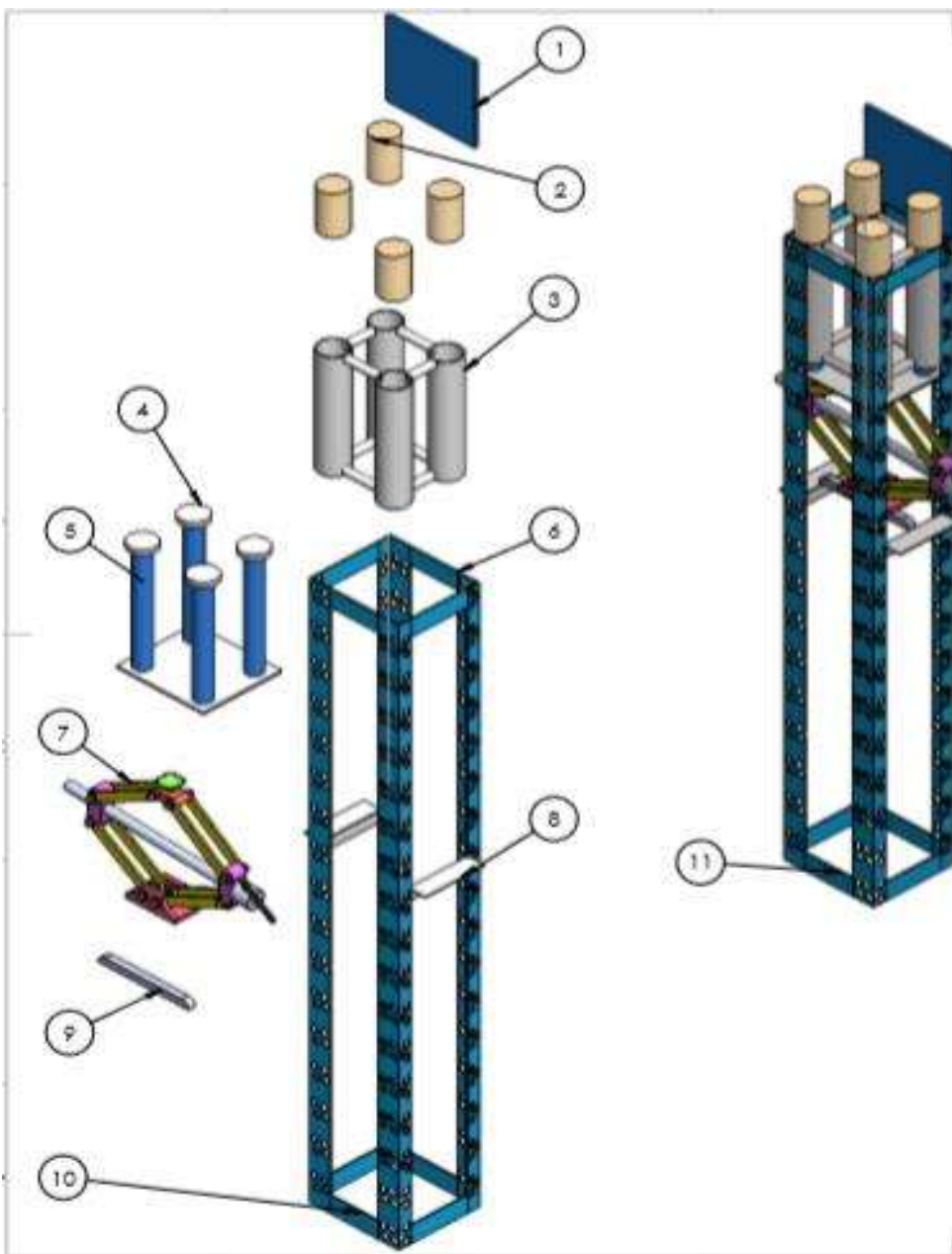
Alejandra Cortés de Milmo
Presidenta del Patronato del Premio

Salvador Alva Gómez
Presidente del Tecnológico de Monterrey

Monterrey, N.L., octubre 2018

a) DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN MODELO DE VIVIENDA SUSTENTABLE Mario Morales Máximo, María Alexa de la Torre Madrigal Escuela de Diseño de Interiores y Construcción de la Universidad Vasco de Quiroga (UVQ), Avenida Juan Pablo II Número 555, Santa María de Guadalupe, Morelia, Michoacán, C.P. 58000 México. Tel. 01 463 907 8827. mariaalexa@uvq.mx mario@uvq.mx Luis Bernardo López Soza Instituto de Investigaciones en Madera y Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMMIM), Avenida Francisco J. Magaña s/n, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, C.P. 58000, México. Tel. 01 443 122 1509 soza@ummim.com RESUMEN El análisis de la política pública del gobierno mexicano sobre la vivienda sustentable, en su tema de interés, por la repercusión que tiene no sólo en la economía de los propietarios de la vivienda sustentable, sino en el medio ambiente. El presente trabajo consiste en diseñar un modelo de vivienda con criterios que parten del diseño sustentable, la utilización de materiales de bajo costo y de menor impacto ambiental, tomando en cuenta la ergonomía del usuario, así mismo se pretende realizar un análisis del modelo de la vivienda para determinar las cargas presionables a la misma, para con la relación de un análisis bioclimático de la vivienda. ABSTRACT The analysis of the public policy of the Mexican government on sustainable housing is a topic of interest, because of the repercussion that it has not only on the economy of the owners of sustainable housing, but also because of the impact it has on the environment. The present work consists in designing a housing model with criteria based on sustainable design, the use of low-cost materials and with a lower environmental impact, taking into account the ergonomics of the user, as well as an analysis of the modeling of the housing to determine the allowable burdens to it, together with the relationship of a bioclimatic analysis of the dwelling. Palabras clave: Vivienda sustentable, medio ambiente, diseño, bioclimático. INTRODUCCIÓN En los últimos tiempos, la atención de tecnología sustentable y el uso de sistemas pasivos de acondicionamiento térmico energético son	b) DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN TÉRMICA DE UN SECADOR SOLAR DE BIOMASA CON RESPALDO TÉRMICO DE COMBUSTIÓN DE RESIDUOS FORESTALES Carlos A. García Bustamante*, Luis Bernardo López Soza*, José Néliz González*, Mario Morales Máximo* Escuela Nacional de Estudios Superiores-UNAM, Antigua Cuernavaca y Pánuco, El Estero de San José de la Huerta C.P. 58000 Morelia, Michoacán, México. Teléfono: (443) 989 31 00. Dirección de e-mail: carlosa@seinvestigacion.mx, lsoza@seinvestigacion.mx, jn@seinvestigacion.mx, mario@seinvestigacion.mx Alberto Beltrán Morales Instituto de Investigaciones en Madera, Unidad Uruapan, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Antigua Cuernavaca y Pánuco, El Estero de San José de la Huerta, C.P. 58000 Morelia, Michoacán, México. Teléfono: (443) 147 7006. Dirección de e-mail: alberto@seinvestigacion.mx RESUMEN Se presenta el dimensionamiento, diseño, construcción y evaluación térmica de un secador de madera tipo caja. Este dispositivo consta de: (a) un colector de doble inclinación con una superficie absorbente solar (b) una cámara de secado con capacidad de un metro cúbico de biomasa forestal (c) un par radiante de resguarda térmico (d) un sistema de combustión de residuos forestales maderables para calentamiento y (e) un sistema de flujo de agua para el gas radiante y (f) un sistema de extracción para extracción de la cámara de la cámara de la cámara. El dispositivo está diseñado para operar durante el día con el aprovechamiento de la energía solar, y en ausencia de esta energía, funciona con un regulador térmico diseñado para la cámara de la cámara. Se realizó la caracterización térmica del secador en funcionamiento obteniendo resultados favorables, por lo que se concluye su factibilidad técnica. Esta tecnología se implementa en la comunidad indígena de Pichitlán, Michoacán, México, donde la principal actividad económica es la extracción de maderas de madera. La construcción del funcionamiento de este secador puede servir como la tecnología para mejorar el tiempo de secado de la madera, mediante fuentes renovables de energía, proporcionando un uso alternativo energético sostenible y sustentable. ABSTRACT In this work, the dimensioning, design, construction and thermal evaluation of a box type solar dryer for wood is presented. This device consists of: (a) a double inclination collector with a solar absorptive surface (b) a drying chamber with a capacity of one cubic meter of forest biomass (c) a thermal guard radiative pair (d) a system of combustion of renewable forest biomass for heating and (e) a water flow system for the radiant gas and (f) an extraction system for extraction from the drying chamber. The device is designed to operate during the day with the use of solar energy, and in the absence of this energy, it operates with a thermal regulator designed for the drying chamber. The thermal characterization of the dryer in operation obtained favorable results, so that it is concluded its technical feasibility. This technology is implemented in the indigenous community of Pichitlán, Michoacán, Mexico, where the main economic activity is the extraction of wood. The construction and operation of this dryer can serve as a technology to improve the drying time of wood, using renewable energy sources, providing an alternative sustainable and sustainable use of energy.
c) ANÁLISIS TÉRMICO COMPARATIVO DE DOS SISTEMAS SOLARES PARA EL SECADO DE MADERA CON INCLINACIÓN VARIABLE Mario Morales Máximo, Luis Bernardo López Soza, Juan Manuel Boyce Correa, Erick Adrián Flores Rojas. Escuela Nacional de Estudios Superiores-UNAM, Antigua Cuernavaca y Pánuco, El Estero de San José de la Huerta, 58000 Morelia, Michoacán, C.P. 58000, México. mario@seinvestigacion.mx, lsoza@seinvestigacion.mx, jmboyce@seinvestigacion.mx, erick@seinvestigacion.mx RESUMEN Uno de los problemas principales que enfrenta el sector maderero, desde el pequeño, mediano y grande productor industrial de diferentes productos derivados de la madera, es el uso de los recursos con un consumo de biomasa apropiado. Este problema se presenta desde la fabricación y durante la vida en servicio del producto. Con el fin de contribuir a mejorar este problema. El presente trabajo está basado en el diseño de dos prototipos de secado que aprovechen la energía solar, cuyo sistema sea el tipo convencional que se usa en la industria de la madera, y el otro sistema de inclinación variable que aproveche la mayor radiación solar posible durante la vida de la instalación, con la finalidad de disminuir la temperatura y humedad relativa interna respecto a la temperatura y humedad de la cámara, así como la relación entre las temperaturas internas y externas del secador. Este dispositivo se usa como alternativa para los que trabajan la madera, debido a que se construye en regiones rurales para los que pueden presentar el problema de acceso a la energía y la madera en caso de ellos. Este tipo de tecnología se propone para la madera que necesita temperaturas secas secado a bajas temperaturas por debajo de los 70 grados para evitar problemas de agrietamiento, torción, o combustión de la madera, se pretende que estos dispositivos sean económicamente viables, de bajo impacto ambiental y de uso eficiente posible, que además genere valor agregado del recurso maderable y sus derivados. ABSTRACT One of the main problems facing the timber sector, from the small, medium and large industrial producer of different products derived from wood, is the use of the resources with an appropriate biomass consumption. This problem occurs from the manufacturing and during the service life of the product. In order to help improve this problem, the present work is based on the design of two prototypes of drying that use solar energy, the one being the conventional type that is used in the wood industry, and the other system of variable inclination that takes advantage of the maximum solar radiation possible during the life of the installation, with the aim of reducing the temperature and relative humidity inside the dryer with respect to the temperature and humidity of the chamber, as well as the relationship between the internal and external temperatures of the dryer. This device is used as an alternative for those who work with wood, due to that it is constructed in rural areas for those who may have access to energy and wood in case of them. This type of technology is proposed for wood that needs dry drying at low temperatures below 70 degrees to avoid problems of cracking, twisting, or combustion of the wood, it is intended that these devices be economically viable, of low environmental impact and of efficient use possible, that also generate added value of the wood resource and its derivatives.	d) DISEÑO DE TECNOLOGÍAS SOLARES PARA EL SECADO DE MADERA CON INCLINACIÓN VARIABLE: ANÁLISIS TÉRMICO Y FUNCIONALIDAD. Mario Morales Máximo*, Luis Bernardo López Soza*, Juan Manuel Boyce Correa*, Erick Adrián Flores Rojas*, Carlos Alberto García Bustamante* Eje Temático 2 – Mesa 7 Resumen En este trabajo se presenta el desarrollo de dos tipos de secadores solares para biomasa forestal maderable. Esta investigación está enfocada a evaluar de forma preliminar la diferencia térmica de estos dispositivos con la finalidad de determinar la geometría óptima que permita mejores características térmicas. Los dispositivos desarrollados son de pequeñas dimensiones tipo caja, y la caracterización se ha realizado considerando parámetros como la evaluación de la eficiencia térmica y el análisis termográfico de los dispositivos. De la evaluación resultante se tomaron consideraciones importantes para escalar esta tecnología que se pueda implementar en una comunidad indígena cuya principal actividad económica sea el aprovechamiento de biomasa forestal maderable. Palabras clave: Secado de madera, secador solar, madera, térmico. Introducción En la industria maderera la producción de objetos de primera necesidad requiere de ciertas condiciones climatológicas de acuerdo al lugar donde será utilizado cualquier producto derivado de la madera, la mayoría de estos objetos, su materia prima tiene que pasar por un determinado proceso de secado. Existen diferentes tipos de
e) DISEÑO DE UN MODELO DE VIVIENDA SUSTENTABLE PARA CONTINGENCIAS EN DESASTRES NATURALES: PROPUESTA PARA COMUNIDADES RURALES DEL ESTADO DE MICHOACÁN. Mario Morales Máximo*, María Alexa de la Torre Madrigal*, Luis Bernardo López Soza* Eje Temático 2 – Mesa 7 Resumen El presente trabajo consiste en el diseño de vivienda elaborada de materiales locales asequibles, con criterios que parten del diseño sustentable. Se ha sugerido la utilización de materiales de bajo costo y de menor impacto ambiental, tomando en cuenta, también, la ergonomía con el usuario, con la finalidad de ser una alternativa de uso provisional o vivienda indefinida para contingencias en caso de desastres naturales en comunidades rurales del estado de Michoacán. El análisis de la presente propuesta, versa en la evaluación estructural, térmica y de análisis de ciclo de vida de la construcción. Y pretende ser una alternativa viable para emergencias naturales que, como es conocido, afectan a caso imprevisibles al territorio nacional. Palabras clave: Vivienda sustentable, diseño, madera. Introducción En los últimos tiempos, la gestión de tecnología sustentable y el uso de sistemas pasivos de acondicionamiento térmico energético son objeto de numerosos estudios y prácticas de diseño y construcción. Por ello, resulta indispensable el conocimiento del clima local y sus variables para definir estrategias de diseño (Stracco et al. 2010). Una vivienda ecológica tiene como principal objetivo minimizar el impacto ambiental, utilizando, entre otros, como modelo, materiales locales, el diseño de una vivienda	f) DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR PARA BIOMASA FORESTAL Juan Manuel Boyce Correa*, Carlos Alberto García Bustamante*, Mario Morales Máximo*, Luis Bernardo López Soza*, Alberto Beltrán Morales*, José Néliz González* Séptimo Encuentro de Jóvenes Investigadores del Estado de Michoacán Mesa 2. Ciencias de la ingeniería y tecnología Palabras Clave: (secador solar, biomasa, ecotecnología, comunidad) Resumen Se presenta el dimensionamiento y construcción de un secador solar para biomasa forestal maderable, como una alternativa energética sostenible para artesanos de comunidades indígenas del estado de Michoacán, que permita proporcionar valor agregado a sus productos finales. Considerando un estudio de caso para la comunidad indígena de Pichitlán, el dimensionamiento y la construcción de esta tecnología se han realizado considerando varios factores socio-ecno-ambientales: (a) las necesidades maderables de talleres artesanales de la comunidad (b) el recurso solar disponible (c) la selección con premisa simulación térmica del sistema (d) el diseño apropiado con el espacio y uso de los recursos locales para la construcción del secador solar. Este dispositivo se usa como alternativa para los que trabajan la madera, debido a que se construye en regiones rurales para los que pueden presentar el problema de acceso a la energía y la madera en caso de ellos. Este tipo de tecnología se propone para la madera que necesita temperaturas secas secado a bajas temperaturas por debajo de los 70 grados para evitar problemas de agrietamiento, torción, o combustión de la madera, se pretende que estos dispositivos sean económicamente viables, de bajo impacto ambiental y de uso eficiente posible, que además genere valor agregado del recurso maderable y sus derivados.
g) ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	

ANEXO G Despiece completo del diseño de la máquina briqueteadora manual.



No. de Elemento	No. de Pieza	Descripción de los materiales utilizados	Descripción de los elementos utilizados
1	1	Tapa de acero cedula 30	Es la tapa donde se genera la presión para crear las briquetas
2	4	Briquetas	son 3 cuatro briquetas que puede generar la maquina es algo representativo
3	1	Tubo de acero cedula 30	Sirven como los moldes para hacer las briquetas
4	4	Gomas de llanta reciclada	Sirve para hacer el recorrido dentro del tubo
5	1	Tubo de acero de 1/2 pulgada de diametro y placa de acero calibre 30	Son para hacer el recorrido total del tubo con el molde para generar las briquetas
6	1	Angulo de 1/2 pulgada por 1/8 de pulgada	Sirve para crear toda la base de la maquina
7	1	Gato mecánico	Es el dispositivo el cual genera la presión para crear las briquetas
8	2	Angulo de 1/2 pulgada por 1/8 de pulgada	Sir ve para sostener el dispositivo mecánico
9	1	Tubular cuadrado de acero de 3/4 pulgadas	Es el punto medio donde se ajusta el gato para generar presión
10	1	Angulo de 1/2 pulgada por 1/8 de pulgada	Sirve como apoyo y se encarga de distribuir la carga y ayuda a que no se mueva el dispositivo
11	1	Ensamble completo de la maquina briquetadora	

Realizado por:	Descripción: Despiece total de la maquina briquetadora manual con cada uno de las piezas que conforman la maquina.	Folio:
Revisado:		DESPIECE DE LA MAQUINA BRIQUETADORA MANUAL
Elaborado:	Material: en la tabla de contenido en el lado derecho de cada hoja describe cada uno de los materiales que conforman la maquina briquetadora manual	ANEXO 2
Revisado:		