



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

**ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE
BRIQUETAS DE ASERRÍN, CÁSCARA DE CAFÉ Y OLOTE, PARA
DISMINUIR EL CONSUMO DE LEÑA EN SAN JUAN SACATEPÉQUEZ**

Erick Jony Alvarez Maldonado

Asesorado por el Ing. MSc. Edgar Leonel Ortiz Castillo

Guatemala, Agosto de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE
BRIQUETAS DE ASERRÍN, CÁSCARA DE CAFÉ Y OLOTE, PARA
DISMINUIR EL CONSUMO DE LEÑA EN SAN JUAN SACATEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ERICK JONY ALVAREZ MALDONADO

ASESORADO POR EL ING. MSC. EDGAR LEONEL ORTIZ CASTILLO

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

Guatemala, Agosto de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Pablo Christian de León
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Fuentes
EXAMINADOR	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE BRIQUETAS DE ASERRÍN, CÁSCARA DE CAFÉ Y OLOTE, PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE LEÑA EN SAN JUAN SACATEPÉQUEZ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrado de Ingeniería, con fecha junio de 2016.

F_____

Erick Jony Alvarez Maldonado

Ref.APT-2018-015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente titulado: "ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE BRIQUETAS DE ASERRÍN, CÁSCARA DE CAFÉ Y OLOTE, PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE LEÑA EN SAN JUAN SACATEPÉQUEZ" presentado por el Ingeniero Industrial Erick Jony Alvarez Maldonado, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

Decano

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, agosto de 2018.

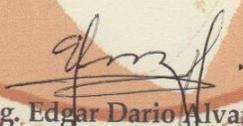
Cc:archivo/LZLA.

Ref.APT-2018-015

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado **"ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE BRIQUETAS DE ASERRÍN, CÁSCARA DE CAFÉ Y OLOTE, PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE LEÑA EN SAN JUAN SACATEPÉQUEZ"** presentado por el Ingeniero Industrial Erick Jony Alvarez Maldonado, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, agosto de 2018.

Cc archivo/L.Z.L.A.

Ref.APT-2018-014

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente del Trabajo de Graduación titulado "ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE BRIQUETAS DE ASERRÍN, CÁSCARA DE CAFÉ Y OLOTE, PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE LEÑA EN SAN JUAN SACATEPÉQUEZ" presentado por el Ingeniero Industrial Erick Jony Alvarez Maldonado, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

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



Guatemala, agosto de 2018.

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

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	El fundamento de mi vida, quien me concede este triunfo y me lleva de victoria en victoria.
Mi esposa	Silvia Cornejo, por su apoyo y motivación.
Mis hijas	Elizabeth Andrea y Ana Raquel, como un ejemplo e inspiración a su formación académica.
Mis tíos	Melva y Hugo Maldonado, por su cariño incondicional.
Mis hermanos	Hacen mi vida llena de bendiciones.
Mi equipo de trabajo laboral	Por su disponibilidad y acompañamiento en todo reto laboral, como ejemplo en su vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrir sus puertas para forjar mi carrera profesional.
Facultad de Ingeniería	Cuna invaluable donde obtuve conocimientos para ser un agente de cambio en la sociedad.
Escuela de Postgrado	Por su visión y entereza en la formación de profesionales competitivos.
Mi Familia	Por su constante apoyo para alcanzar este triunfo.
Ing. MSc. Edgar Leonel Ortiz Castillo	Por su valiosa disponibilidad y asesoría profesional en este trabajo.
Ing. MSc. Jose Rosal Chicas	Por su excelente acompañamiento y apoyo en el desarrollo de esta investigación.
Mis amigos y compañeros	Por todos esos momentos tan especiales que compartimos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVII
OBJETIVOS.....	XXIII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Datos generales de San Juan Sacatepéquez.....	1
1.2. El consumo de leña en San Juan Sacatepéquez	2
1.3. Definición de biomasa	4
1.4. Características de las biomasas.....	8
1.5. Briquetas como alternativa para la reducción del consumo de leña.....	9
1.6. Análisis técnico de biomasa para la elaboración de briquetas	10
1.6.1. Aserrín	10
1.6.1.1. Componentes estructurales	11
1.6.2. Cascarilla de café	12
1.6.2.1. Propiedades.....	13
1.6.2.2. Usos, aplicaciones y derivados de la cascarilla del café	14

1.6.3.	Olote de maíz	16
1.6.4.	Diseño de briquetas	18
1.6.4.1.	Densificación de la biomasa.....	18
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.1.	Diagnóstico del consumo de leña	21
2.2.	Análisis estadístico del poder calorífico de biomosas	23
2.2.1.	Disponibilidad de aserrín	25
2.2.2.	Disponibilidad de olote	25
2.2.3.	Disponibilidad de cascarilla de café	26
2.3.	Diseño de briquetas	27
2.4.	Diseño de la máquina para fabricar briquetas.....	27
2.4.1.	Procedimiento para elaborar la briqueta	29
2.4.2.	Diagramas de flujo para la elaboración de briquetas.....	32
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	37
3.1.	Cálculo de eficiencias.....	37
3.2.	Tiempo de Combustión de 0.5 kilogramos de briquetas	38
3.3.	Cálculo de densidad final de la briqueta.....	39
3.4.	Maquinaria y equipo de producción:.....	43
3.5.	Proporción de materias primas por metro cúbico de briquetas	44
3.6.	Capacitación de uso eficiente de briquetas.....	49
3.7.	Análisis financiero	49
3.7.1.	Costo de residuos de biomasa en campo	49
3.7.2.	Determinación de costos	50
3.7.2.1.	Costo de materia prima	51
3.7.2.2.	Costo de mano de obra.....	52

3.7.2.3.	Costo de energía eléctrica	52
3.7.3.	Cálculo del valor presente neto	53
	y tasa interna de retorno.....	53
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57
4.1.	Disponibilidad de materia prima	57
4.2.	Elaboración de la briqueta	58
4.3.	Proceso industrial de producción de briquetas	59
4.4.	Poder calorífico.....	64
4.5.	Beneficios ambientales.....	65
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES.....	69
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
	ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. generación de la biomasa.....	6
2. clasificación de la biomasa.....	7
3. Aserrín.....	10
4. Usos del café y derivados.....	15
5. Comparativo de combustibles fósiles y biomasa	15
6. Olote entero.....	16
7. Gráfica de poder calorífico de biomosas.....	24
8. Briquetadora manual	28
9. Molino de martillos.....	29
10. Mezcla de biomosas	30
11. Aplicación de presión a la briqueta	30
12. Extracción de la briqueta	31
13. Diagrama de flujo del olote	32
14. Diagrama de flujo de papel como aglutinante.....	33
15. Diagrama de flujo de cáscarilla de café	34
16. Diagrama de flujo de aserrín.....	35
17. Diagrama de flujo para elaboración de briqueta	36
18. Combustión de 0.5 kilogramos de briquetas.....	38
19. Peso en gramos de briqueta:.....	39
20. Dimensiones de briqueta	39
21. Kilogramos de aserrín necesarios por hectárea de bosque.....	48
22. Hectáreas cubiertas por kilogramos de briquetas.....	48
23. Costos de biomosas por saco de 50 kilos.....	50

24. Comparación de precios de biocombustibles	55
25. Maquinaria para producción industrial.....	60
26. Briquetadora industrial de pistón	61
27. Máquina briquetadora industrial de extrusión.....	63
28. Mapa de San Juan Sacatepéquez	77
29. Café empacado de San Juan Sacatepéquez	80

TABLAS

I.	Propiedades del aserrín	11
II.	Humedad y poder calorífico del olote y otros residuos	17
III.	Análisis estadístico de poder calorífico	24
IV.	Hectáreas por actividad agrícola	26
V.	Procesos para la obtención de las biomasas:	28
VI.	Eficiencia de combustión de residuos.....	37
VII.	Densidad de briquetas según tecnología.....	40
VIII.	Doder calorífico de biomasas	41
IX.	Porcentajes de biomasa por kilo de briqueta	42
X.	Comparación de biomasas	43
XI.	Biomasa por m ³ de briqueta	44
XII.	Biomasa requerida para 1.28 m ³ de briquetas.....	45
XIII.	Disponibilidad de biomasa por semana	46
XIV.	Biomasa disponible anual para producción de briquetas	47
XV.	Valor presente neto y tasa interna de retorno	54

LISTA DE SÍMBOLOS

cal	Calorías
CO₂	Dióxido de carbono
GLP	Gas licuado de petróleo
kcal	Kilo calorías
Kcal/kg	Kilo calorías por kilogramo
kJ	Kilo Julios
kg	Kilogramos
lb	Libras
MJ	Mega Julios
MJ/kg	Mega Julios por kilogramo
m³	Metro cúbico
msnm	Metros sobre el nivel del mar
KBEP	Miles de barriles equivalentes de petróleo
mm	Milímetros
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
ton	Toneladas

GLOSARIO

Aserrín	Residuo generado por el manejo y corte de madera en la industria maderable.
Biomasa	Materia orgánica de origen vegetal o animal con potencial de ser usada energéticamente.
CAH	Contaminación de aire en el hogar.
Cascarilla de café	Llamada cisco es una envoltura cartilaginosa de color blanco amarillento de aproximadamente 100 micrómetros de espesor y que corresponde al endocarpio (pergamino) del fruto, la semilla se encuentra en una forma suelta dentro de esta. (Palacios & Betancourt, 2005).
CIACAFE R.L.	Integral Agrícola cafetaleros de San Juan Sacatepéquez.

CINPE	Centro Internacional de Políticas Económica de Costa Rica.
CO2	Dióxido de carbono.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
Ha	Hectárea.
IARNA	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.
INAB	Instituto Nacional de Bosques.
Leña	Biomasa utilizada para cocción de alimentos o calefacción.
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
MEM	Ministerio de Energía y Minas.
MINEDUC	Ministerio de Educación.
NUFFIC	Embajada de los países bajos.
Olote	El corazón de la mazorca.
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Residuo	Material sobrante de un proceso, donde se considera sin valor aprovechable.
SEGEPLAN	Secretaría General de Planificación.
Tala ilegal	Corte de bosque sin permiso gubernamental o propietario, violación del derecho de propiedad.
Tala legal	Corte de bosque con permiso gubernamental, licencia para aprovechamiento de bosque.
URL	Universidad Rafael Landívar.
USAC	Universidad de San Carlos.

RESUMEN

Según investigaciones realizadas por IARNA, USAC, la embajada de los países bajos (NUFFIC), indican que del 100 % de la tala ilegal, el 70 % es para consumo de leña y el 30 % en productos maderables, determinando que se consumen entre 147,525 a 184,542 m³/año de leña. (IARNA/URL, 2012) La cobertura forestal de 15,458 ha. representan el 57 % del territorio del municipio, se tiene una pérdida anual de 60 ha.

Este proyecto se propone evaluar técnica y financieramente una alternativa por medio de briquetas compuestas por cascarilla de café, olote y aserrín como alternativa para reducir el consumo de leña, aprovechando los residuos generados por la industria maderera, el cultivo de maíz y café en San Juan Sacatepéquez. Estos residuos derivados de la madera y cultivos vegetales, por su estructura físico química, poseen un poder calorífico con potencial de uso en combustión para la cocción de alimentos u otros usos, sustituyendo la leña que actualmente es utilizada como energía calorífica para estas necesidades de la población. Contribuyendo de esta manera en la mitigación de gases de efecto invernadero y la disminución de la tala no controlada.

La briqueta contiene 60 % aserrín, 25 % cáscara de café, 10 % olote y 5 % de papel reciclado como aglutinante natural, esta briqueta se forma, a través de aplicación de presión en un molde cilíndrico. En la prueba de combustión se observa un encendido inmediato, y una reducción del 75 % de gases de efecto invernadero.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Descripción del problema

Según el estudio del Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente por la Universidad Rafael Landívar, realizado en diciembre del 2009, indica que: El 68 % de la población del área urbana y el 99 % del área rural del municipio de San Juan Sacatepéquez consume leña en su mayoría de tala ilegal, disminuyendo las reservas forestales del municipio, generando contaminación ambiental, aumento de dióxido de carbono, enfermedades respiratorias, infecciosas y parasitarias; ocasionando en gran parte una tasa de mortalidad infantil en el 2008 de 12 niños por cada mil nacidos vivos y para niños mayores de 5 años la tasa de mortalidad fue de 16 niños por cada mil de igual manera la tasa de mortalidad materna indica que de cada mil nacimientos mueren 53 mujeres. El cáncer en los ojos por exposición continua al humo, suelos de baja calidad, la existencia de un mercado de leña sin precios regulados y la desaparición de bosques, consecuencias de la ausencia de planes gubernamentales y municipales hacia los recursos naturales renovables y no renovables. El conjunto de prácticas deficientes genera una pérdida de bosques en un total de 60 ha. (Sandoval, 2009) anualmente.

La falta de empleo y acceso a la educación son causas que contribuyen a la deforestación en San Juan Sacatepéquez.

Siendo el consumo un 87.3 %, corresponde a la tala no controlada y el 12.3 % a la tala controlada. (INAB, 2010).

Formulación del problema

En Guatemala, el 65 % de la población depende de la leña para la cocción de alimentos y calefacción de vivienda, principalmente en el área rural donde la población en su mayoría son pobres o muy pobres, añadiéndose los sectores marginales y asentamientos de pobres o muy pobres a orillas de las ciudades.

A nivel país, se consumen alrededor de 16 millones de toneladas de leña, de los cuales 5 millones representan un constante déficit anual, lo que impacta directamente en la cobertura forestal. Se estima que un 60 a 70% de los hogares que consumen leña no cuentan con chimenea para la extracción del humo generado por la combustión y entre un 5 a 20 % de hogares de extrema pobreza cocinan en el mismo lugar donde duermen (INAB, 2015), ocasionando enfermedades respiratorias y oculares.

En el consumo de leña existe relación con las enfermedades respiratorias, debido a quienes utilizan leña aumentan un 31 % de probabilidades de contraer enfermedades oculares como respiratoria.

La contaminación de aire en el hogar (CAH) representa en pérdidas económicas en 1% del PIB en Guatemala y más de 5,000 muertes de todas las edades ocasionadas.

El municipio de San Juan Sacatepéquez, tiene una población aproximada de 152,583 habitantes, distribuidos en una ciudad, que es su cabecera municipal, 13 aldeas, 40 caseríos, 38 colonias y 15 fincas. El 34.6 % de su población se considera urbana y un 65.4 % rural. De su población, 99,853 de sus habitantes son indígenas y 52,730 son no indígenas. El idioma predominante del municipio es el cakchiquel, aunque la población también domina el español.

La población tiene un índice de pobreza y pobreza extrema de 40.9 % y 9.5 % respectivamente, y un Índice de Desarrollo Humano de 0.716 para el 2005 (PNUD, 2006), así también expande sus fronteras agrícolas de tal manera que cada año se pierden 60 ha (IARNA 2006).

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Pregunta general

Cuál es la viabilidad técnica y financiera en la implementación de briquetas, para disminuir el consumo de leña en el municipio de San Juan Sacatepéquez?

Preguntas auxiliares

1. ¿Cuáles son las características físicas y químicas de una briqueta como una opción energética en San Juan Sacatepéquez?
2. ¿Cuál es el poder calorífico de la briqueta compuesta por el 60 % de aserrín, 25 % de cascarilla de café, 10 % de olote y 5 % de papel como aglutinante natural?
3. ¿Qué tiempo se necesita para alcanzar el punto de ebullición de un litro de agua utilizando briquetas como combustible?
4. ¿Cuántas hectáreas de bosque se pueden evitar deforestar al año, con la utilización de briquetas en el municipio de San Juan Sacatepéquez?

DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Delimitación geográfica

El proyecto de la sustitución de la leña por la biomasa de residuos orgánicos, se desarrollará en el área urbana y rural del municipio de San Juan Sacatepéquez, el que está situado en la parte noroeste del departamento de Guatemala. Se localiza en la latitud norte 14° 43' 02" y en la longitud oeste 90° 38' 34". Limita al norte con el municipio de Granados (Baja Verapaz); al sur con el municipio de San Pedro Sacatepéquez (Guatemala); al este con los municipios de San Raymundo, San Pedro Sacatepéquez y Chinautla (Guatemala); y al oeste con los municipios de San Martín Jilotepeque y el Tejar (Chimaltenango) . La extensión territorial del municipio es de 287 km² , y se encuentra a una altura de 2,184.5 msnm, por lo que generalmente su clima es frío. Está a una distancia de 31 km de la cabecera departamental de Guatemala (SEGEPLAN, 2003).

Delimitación sectorial

Esta investigación abarca el área urbana y rural del municipio, con el fin de proponer una alternativa energética para la reducción del consumo de leña, del 62.6 % que representa el sector residencial, la mayor fuente energética es la leña con un 57.5%, un 2.3 % uso de energía eléctrica y un 2.8 % uso de derivados de petróleo (GLP).

OBJETIVOS

General

Determinar la viabilidad técnica financiera en la implementación de briquetas, para disminuir el consumo de leña en San Juan Sacatepéquez.

Específicos

1. Identificar las características físicas y químicas de una briqueta como recurso energético en el municipio de San Juan Sacatepéquez.
2. Determinar la densidad y poder calorífico de la briqueta compuesta por el 60 % de aserrín, 25 % de cascarilla de café y 10 % de olote y 5 % de papel reciclado como aglutinante natural.
3. Medir el tiempo para alcanzar el punto de ebullición de un litro de agua utilizando un kilogramo de briquetas como combustible.
4. Determinar las hectáreas de bosque que se evitarían talar al año con la utilización de briquetas en sustitución de la leña, en el municipio de San Juan Sacatepéquez.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Fase 1

Esta fase se constituyó por la recopilación de información bibliográfica de todos los elementos necesarios para desarrollar el proyecto de investigación. Tal como la disponibilidad de Aserrín, según la cantidad de aserraderos e industria de muebles donde se produce este residuo, en el caso del olote, las hectáreas de maíz producido anualmente, en relación a la cáscara de café, se investigó la producción por medio de la cooperativa CIACAFE R.L, es la institución que reúne a todos caficultores de la localidad de San Juan Sacatepéquez, y sus alrededores, esto para el efecto de cubrir la demanda equivalente de leña en el área urbana del municipio.

Se investigaron los diferentes procesos en el diseño y producción de briquetas para definir el modelo más conveniente en capacidad de combustión y rendimiento.

Se exploró la industria de briquetas en países que ya han realizado este tipo de proyectos ecológicos y sus avances respectivos, además se identificaron países experimentados, tanto en la fabricación de maquinaria para la producción de briquetas como el mercado de las mismas, se elaboró un listado de los principales proveedores de maquinaria para fabricación de briquetas.

Se hizo un sondeo de la situación actual de alternativas ecológicas en Guatemala, para la reducción del consumo de leña.

Fase 2

Se fabricó un mecanismo para la elaboración de las briquetas, este equipo consta de un marco fijo de cuatro bases con un tubo en la parte central, este tubo tiene agujeros por donde debe salir el agua al momento de aplicar presión por medio de un dispositivo hidráulico o mecánico.

Se definieron los pasos necesarios para el transporte y manejo de la materia prima en las condiciones fisicoquímicas adecuadas, para su mezcla y el proceso para la elaboración de las briquetas, estos materiales deben ser de partículas pequeñas que faciliten su adherencia entre sí por un adhesivo natural llamado lignina que posee la madera.

Con los residuos de aserrín, olote triturado y cáscara de café mezclados en agua y el aglutinante natural, se procedió a llenar el molde donde se aplica presión para la formación de la briqueta, posteriormente se colocó para secado natural para extracción de humedad. Una vez la briqueta seca, se procedió a medir su densidad, pruebas de encendido, durabilidad, manejo, temperatura, poder calorífico y almacenamiento.

En el análisis de resultados, se aplicó la estadística descriptiva, utilizando tablas comparativas, gráficos de barras y lineales, de acuerdo a las características que se evaluaron.

Se realizó un análisis de costos de la briqueta, la cantidad necesaria para cubrir la demanda de leña y su viabilidad financiera por el método de VPN y TIR.

Por último, se determinaron los beneficios ambientales que genera la utilización de briquetas y la cantidad de hectáreas de bosque que se evitan talar con esta alternativa energética, finalizando con una discusión de resultados y recomendaciones de la investigación.

INTRODUCCIÓN

La leña ocupa el mayor consumo en el balance energético de Guatemala con un 57%, lo cual viene a ser insostenible, debido a que la deforestación es mayor que la reforestación. El Ministerio de Energía y Minas (Minas, 2013) indica que se consumen 16 millones de toneladas de leña al año y se tiene una oferta sostenible de 10 millones de toneladas, lo cual deja un déficit de 5 millones de toneladas de leña, siendo este un problema común en todas las comunidades urbanas y rurales del país. (IARNA, 2008-2009).

El Instituto de Agricultura Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar, realizó un estudio sobre la tala ilegal en el municipio de San Juan Sacatepéquez, identificando un alto consumo de leña que asciende al 68 % en el área urbana y un 99 % en el área rural, dejando esta investigación como plataforma para la búsqueda de alternativas que apoyen la reducción del consumo de leña que afecta directamente a la calidad de vida de la población y el medio ambiente.

En este proyecto, se evalúa técnica y financieramente una alternativa por medio de briquetas compuestas, por cascarilla de café, olote y aserrín como alternativa para reducir el consumo de leña con fines energéticos. Estos residuos de origen vegetal, están siendo probados en otros países de América Latina como Costa Rica, Chile, Brasil, debido a que poseen alto poder calorífico y su impacto al medio ambiente es amigable por su baja emisión de CO₂, siendo residuos generados por cosechas de café, maíz, corte y proceso industrial de

madera, su costo es competitivo y accesible para ser adquirido por consumidores del área rural y urbana, y contribuir así, en la reducción del consumo de leña, debido a que en el área rural el 99 % de habitantes consumen leña en sus fogones y en el área urbana el 68 % utilizan leña. (IARNA, 2009).

Es de relevancia mencionar que en varios países están realizando investigaciones respecto a la aportación de los residuos sólidos como alternativa energética, para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero y el consumo de leña.

El capítulo uno describe el marco teórico que define las causas del alto consumo de leña, la contaminación ambiental y la afección de salud a los habitantes y usuarios de leña en forma deficiente, las preguntas y objetivos que resuelven dicho problema con su alcance final, los residuos sólidos (aserrín, cascarilla de café y olote), para la elaboración de la briqueta, sus fuentes de generación, cualidades de cada residuo seleccionado para elaborar la briqueta como alternativa de solución al problema.

El capítulo dos hace un diagnóstico del consumo de leña, se determina la disponibilidad de residuos, el diseño de la briqueta y la máquina briquetadora, se realizan los diagramas de flujo necesarios para la elaboración de la briqueta.

En el capítulo tres, se presentan los resultados en eficiencia, combustión y densidad de la briqueta como producto final, así también se describen los instrumentos y recursos utilizados en la elaboración de la briqueta, el estudio

financiero que incluye costos de materia prima, costos de producción, un estimado de su capacidad de producción de acuerdo a materia prima disponible, un análisis de la inversión por el método de VPN y TIR, interpretación de resultados en beneficios económicos, sociales y ambientales al utilizar esta alternativa como sustituto de la leña en los hogares del área urbana y rural de San Juan Sacatepéquez.

El capítulo cuatro hace una discusión de resultados iniciando con la disponibilidad y manejo de materia prima o residuos orgánicos energéticos, como también los precios de los combustibles más utilizados actualmente como la leña y el carbón. En el tema de la briqueta, se analizan diferentes procesos para elaborar briquetas y la tecnología actual usada en los países que encabezan esta industria de biomasa como energía alternativa, terminando con un análisis del poder calorífico y los beneficios ambientales utilizando esta alternativa ecológica.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Datos generales de San Juan Sacatepéquez

El uso de la tierra se caracteriza por cultivos de ciclo anual en un área de 8,869 ha, realizados en su mayoría durante la estación lluviosa. Sus componentes principales son los granos básicos de maíz y frijol negro, el cultivo de café y hortalizas. Los arbustos o matorrales ocupan 11,595 ha y los bosques naturales 5,592 ha (IARNA, 2009).

Su población aproximada es de 152,583 habitantes, distribuidos en una ciudad, que es su cabecera municipal, 13 aldeas, 40 caseríos, 38 colonias y 15 fincas. El 34.6 % de su población se considera urbana y un 65.4 % rural.

De su población, 99,853 de sus habitantes son indígenas y 52,730 son no indígenas. El idioma predominante del municipio es el cakchiquel, aunque la población también domina el español. La población tiene un índice de pobreza y pobreza extrema de 40.9 % y 9.5 % respectivamente, y un Índice de Desarrollo Humano de 0.716 para el 2005 (PNUD, 2006). La tasa neta de escolaridad primaria fue de 105 % para el 2004 (MINEDUC, 2005). Según CONALFA, para el 2005, el 28.65 % de la población era analfabeta (MINEDUC, 2006). En lo que a salud se refiere, las principales causas de mortalidad infantil reportadas son las neumonías, bronconeumonías y septicemia no especificada, y de morbilidad general son las heridas por arma de fuego, traumatismo del craneoencefálico no especificado, neumonías y bronconeumonías (Sistema Gerencial en Salud, 2001, citado por SEGEPLAN, 2003). Su indicador de salud fue de 0.865 para 2002 (PNUD, 2006). En cuanto

a condiciones de vivienda, el 62 % posee servicios de instalación de agua potable, un 88 % tiene servicios sanitarios, el 34 % posee instalación de drenaje y un 90 % cuenta con servicios de electricidad (INE, 2002).

La Población Económicamente Activa, al año 2002, era de 52,215 habitantes, de ésta, la principal fuente de empleo era la industria textil, con un 26 %, le sigue la agricultura, con un 23 %, un 18 % se dedica al comercio y un 13 % a la construcción (INE, 2002).

1.2. El consumo de leña en San Juan Sacatepéquez

Un diagnóstico del mercado local de la leña en San Juan Sacatepéquez (IARNA, 2009) concluyó que, en las áreas rurales, se mantenía la dependencia de la leña para la cocción de los alimentos y también se observó que este uso ejercía presión sobre el bosque natural. Además de este factor, se ha comprobado que la combustión incompleta, usual en estufas o fogones poco eficientes, libera gases y partículas contaminantes para la salud de las personas como para el medio ambiente.

Estos datos son en base a los estudios del programa de investigación en socio economía ambiental del instituto y son apoyados de manera sustantiva por el “Proyecto de Fortalecimiento a la Formación en Economía Ambiental” que se desarrolla en forma conjunta entre la Universidad de San Carlos (USAC) y la Universidad Rafael Landívar (URL) de Guatemala; el Centro Internacional de Políticas Económicas (CINPE) de Costa Rica y el consorcio de universidades holandesas constituido por Tilburg, Wagenigen y Utrech.

El consumo de leña en San Juan Sacatepéquez, está alimentado por un alto porcentaje de tala ilegal, por lo que se realizó una investigación a la tala no

controlada y los impactos en las pérdidas económicas en el sector público, pérdidas por el agotamiento y degradación de los recursos forestales, coordinada por el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar, la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, La Embajada del Reino de los Países Bajos, The Netherlands Organization for International Cooperation in Higher Education (NUFFIC).

Los informes derivados de la investigación, indican que del 100 % de ilegalidad, el 70 % es para consumo de leña y el 30 % en productos maderables. Se estima que en el municipio se consumen entre 147,525 a 184,542 m³ /año de leña en los hogares y unos 220 m³ en la pequeña industria de alimentos. (Estadísticas del INAB, base de datos del PINFOR y PPAFD/PARPA/MAGA.) la Cobertura forestal de 15,458 ha, representan el 57 % del área del municipio, la regeneración natural del bosque se estima en 588 ha y la pérdida de bosque es equivalente (INAB, 2010) a 1,223 ha para un período de 10 años (1991- 2001). Esto refleja una pérdida neta de 60 ha por año.

Tal como lo señalan las cifras nacionales, la leña es el principal producto energético en los espacios rurales, mientras que en los espacios urbanos, el uso de gas propano es creciente. El alto consumo de leña propicia la tala ilegal, la falta de control por parte de las autoridades responsables y la deficiente utilización de la leña como energético para la cocción de alimentos y calentar el ambiente interno de la casa.

El 68 % de la población del área urbana y el 99 % en el área rural del municipio de San Juan Sacatepéquez consume leña en su mayoría de tala ilegal, disminuyendo así, las reservas forestales del municipio, ocasionando

desequilibrio ambiental en relación a la baja producción de oxígeno, aumento de dióxido de carbono.

El uso deficiente de leña genera enfermedades respiratorias, infecciosas y parasitarias; dando como consecuencias una tasa de mortalidad infantil en el 2008 de 12 niños por cada mil nacidos vivos y para niños mayores de 5 años, la tasa de mortalidad fue de 16 niños por cada mil de igual manera la tasa de mortalidad materna indica que de cada mil nacimientos mueren 53 mujeres. cataratas en los ojos por exposición continua al humo, suelos de baja calidad, la existencia de un mercado sin precios regulados por unidad de leña y la desaparición de bosques, consecuencias de una ausencia de la autoridad municipal en la protección hacia los recursos naturales renovables y no renovables.

La escasa capacidad económica y la baja educación escolar son otras causas que contribuyen a la deforestación en San Juan Sacatepéquez, haciendo un uso deficiente de la leña. el 87.3 % corresponde a la tala no controlada y el 12.3 % a la tala controlada. (INAB, 2010).

Se estima un consumo per cápita de 1.28 m³/año/habitante de acuerdo con el consumo y 1.60 m³/año/habitante de acuerdo con lo que compra más recolecta. Se consideró la compra de leña por carga o tarea, y se unificó el valor a una tarea de leña para posteriormente convertirlo a precio de un m³, obteniendo un valor de Q.248.72. En relación al consumo en la pequeña industria de estiman 220 m³/año.

1.3. Definición de biomasa

La biomasa se refiere a toda materia orgánica que proviene de la biosfera, tales como árboles, plantas, desechos de animales que pueden ser convertidos

en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, macadamia), del aserradero (podas, ramas aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Se considera que la biomasa es una fuente renovable de energía, porque su valor proviene del Sol, a través del proceso de fotosíntesis. La clorofila de las plantas captura su energía convirtiendo el dióxido de carbono (CO₂) del aire y el agua del suelo en carbohidratos para formar la materia orgánica. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contienen.

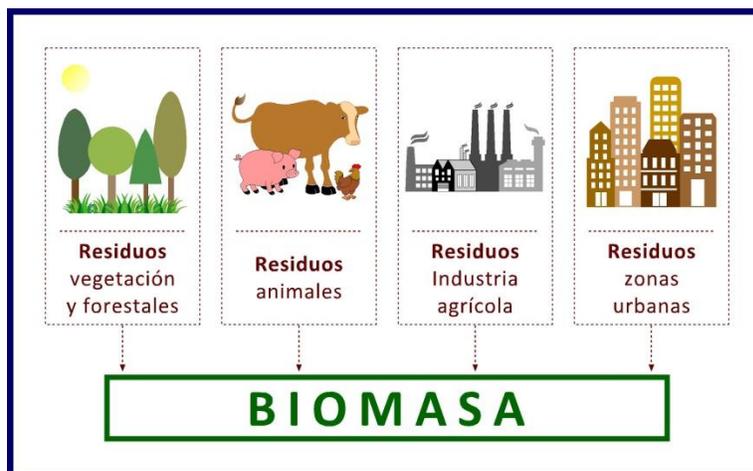
Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía, transformándola, por ejemplo, en combustibles líquidos o gaseosos, los cuales son más convenientes y eficientes. Así aparte de la combustión directa, se pueden distinguir otros dos tipos de procesos como por ejemplo, el termoquímico y el bioquímico. Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas en ellos se producen residuos que normalmente son dejados en el campo, al consumirse, sólo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos. En la agroindustria, los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso de la cascarilla de café. Por otro lado, los centros urbanos generan grandes cantidades de basura compuestas en gran parte, por materia orgánica que puede ser convertida en energía, después de procesarla adecuadamente.

En economías de orientación agrícola, como las de los países centroamericanos, el uso apropiado de la biomasa ofrece una alternativa para reducir los costos de operación por concepto de insumos energéticos, ya que dependen de una gran parte del consumo de combustibles fósiles, además, es una solución para los problemas higiénico-ambientales que, en muchos casos,

presentan los desechos orgánicos. Las denominadas “granjas energéticas” pueden suplir un porcentaje significativo de los requerimientos energéticos mundiales y al mismo tiempo revitalizar las economías rurales, proveyendo energía en forma independiente y segura así lograr importantes beneficios ambientales. Las comunidades rurales pueden ser, entonces, energéticamente autosuficientes en un alto grado, a partir del uso racional de los residuos y administrando inteligentemente la biomasa disponible en la localidad.

Actualmente, los procesos modernos de conversión solamente suplen aproximadamente el 3 % del consumo de energía primaria en países industrializados. Sin embargo, gran parte de la población rural en los países sub desarrollados que representa cerca del 50 % de la población mundial, aún depende de la biomasa tradicional, principalmente de leña, como fuente de energía primaria. Esta, suple aproximadamente 35 % del consumo de energía primaria en países subdesarrollados y alcanza casi un 14 % del total de la energía consumida en el nivel mundial.

Figura 1. **Generación de la biomasa**

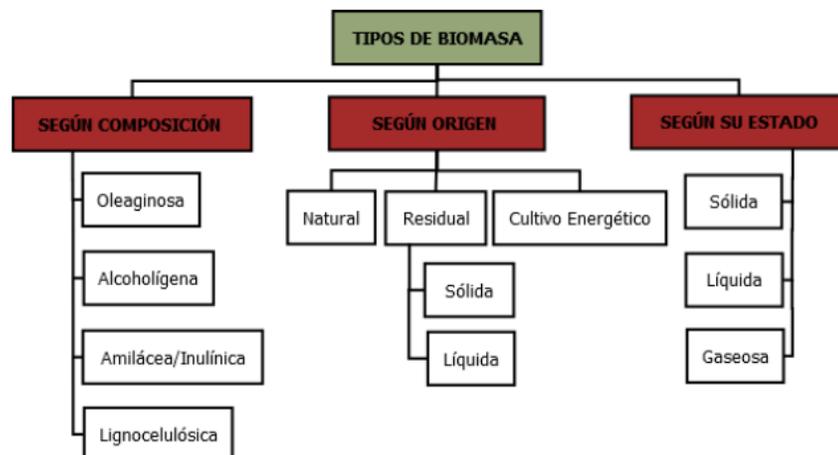


Fuente: Plataforma tecnológica de residuos.

Las fuentes de biomasa que pueden ser usadas para la producción de energía cubren un amplio rango de materiales y fuentes: entre ellos están los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas, estos se usan generalmente para procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, hacia la sustitución de combustibles fósiles.

Los residuos agrícolas como la leña y el carbón vegetal, han sido usados en procesos tradicionales en los países en vías de desarrollo y a usos primarios en pequeña escala; por ejemplo, la cocción de alimentos o las pequeñas actividades productivas como panaderías, caleras, secado de granos, etc.

Figura 2. **Clasificación de la biomasa**



Fuente: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario , 2012.

1.4. Características de las biomasas

Según (FOCER, 2002) considera que para determinar la factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de biomasa en energía, es necesario analizar ciertos parámetros y condiciones que la caracterizan como son:

- Tipo de biomasa

Los recursos biomásicos se presentan en diferentes estados físicos que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión energética que pueden aplicarse a cada tipo en particular.

- Composición química y física: Las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar. Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar.

- Contenido de humedad (H.R.): El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30 %.

- Porcentaje de cenizas: El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues, en algunos casos, ésta puede ser utilizada.

- Poder calórico: El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión, debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.
- Densidad aparente: Esta se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta, bajo condiciones dadas. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas.

1.5. Briquetas como alternativa para la reducción del consumo de leña

Las energías renovables existentes en nuestro planeta, son una fuente inagotable y limpia para producir energía, su estudio, conocimiento y explotación son fundamentales para mitigar los efectos de la contaminación en nuestro planeta, y a sustentar el equilibrio energético necesario, debido al aumento de población y consumo energético mundial. La biomasa es una de las fuentes energéticas renovables con mayor potencial de crecimiento durante las próximas décadas.

El presente proyecto tiene por objetivo el análisis técnico y financiero para implementar biomasa en forma de briquetas, para la reducción del consumo de leña en el área urbana de San Juan Sacatepéquez como sustituto de la leña,

para mejorar la salud de los habitantes, disminuir la deforestación ilegal y por consiguiente, contribuir con la mitigación del cambio climático.

Esta alternativa consiste en una briqueta conformada por residuos generados por la industria maderera, y residuos agroindustriales como lo son la cascarilla de café y el olote producto del cultivo de maíz.

1.6. Análisis técnico de biomasa para la elaboración de briquetas

1.6.1. Aserrín

Residuo generado por el manejo y corte de madera en la industria maderable, es tomando en cuenta que aporta buena cantidad de lignina hace que los materiales se adhieran, se ha usado para fabricar aglomerados de madera, en otros campos de aplicación se usa para limpieza industrial, para base de piso para animales. En los últimos años, se está utilizando para elaboración de briquetas para la combustión en estufas o en forma de pellets para combustión en calderas, debido a alto poder calorífico necesario para la producción de energía.

Figura 3. **Aserrín**



Fuente: elaboración propia.

Tabla I. **Propiedades del aserrín**

Características	Valor	Tamaño (mm)	% de peso
Contenido de humedad	15.5		
Densidad aparente (kg/m ³)	167	> 4.0	2.29
Valor calórico bajo (MJ/kg)	17.86	4.0 - 3.35	2.32
Análisis elemental			
C	50.65	1.98 - 1.60	9.62
H	6.03	1.60 - 1.25	17.87
N	0.14	1.25 - 0.84	23.13
O (por diferencia)	43.18	< 0.84	18.24

Fuente: Tecnología Química, 2016.

1.6.1.1. Componentes estructurales

Donde se encuentran las principales macromoléculas, celulosa, poliosas (hemicelulosas) y ligninas, que están presentes en todas las maderas. Ha estos componentes estructurales se les consideran sustancias de alta masa molar macromoléculas. Sus componentes químicos son polisacáridos y holocelulosa que se derivan a celulosa y poliosas.

Celulosa.

La celulosa es el homopolisacárido que se encuentra en mayor proporción en la madera, es una estructura básica de las células de las plantas y la sustancia más importante producida por este organismo vivo.

Características físico químicas

El aserrín mantiene las características principales de la madera, las cuales son: Resistencia, dureza, rigidez y densidad. La densidad suele representar las propiedades mecánicas, mientras mayor grosor y mayor densidad, más tarda en arder, tiene una alta resistencia a la compresión y una baja resistencia a la tracción. La madera consta de un 50 % de carbono y un 43 % de oxígeno, siendo un total de 93 % de dióxido de carbono que recibe el árbol de la atmósfera por medio de la combustión o pudrición de materia orgánica, el tercer elemento es el hidrógeno con un 6 %, el árbol lo recibe en forma de H₂O, por medio de sus raíces, mientras que el oxígeno y el nitrógeno lo entrega a la atmósfera, el 1% restante son los diferentes materiales que se encuentran en la ceniza, es decir, que al quemar la madera solo este mínimo porcentaje representa los elementos no combustibles.

La cualidad de adherencia de este residuo se debe a la lignina que posee por naturaleza.

La célula de la madera posee algunos compuestos fundamentales como son: celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa constituye el esqueleto; la hemicelulosa, la matriz y la lignina es el material incrustante. Además de los componentes de la pared celular, se abordarán los extractivos y los minerales.

1.6.2. Cascarilla de café

La cascarilla de café también llamada cisco es una envoltura cartilaginosa de color blanco amarillento de aproximadamente 100 micrómetros de espesor y que corresponde al endocarpio (pergamino) del fruto, la semilla se encuentra en una forma suelta dentro de esta. (Palacios & Betancurt, 2005). Esta se extrae

mediante el proceso de trillado donde ocurre una separación, a continuación se presentan las características físicas y químicas.

1.6.2.1. Propiedades

Para aprovechar de manera eficiente este residuo y someter el mismo a un sin número de tratamientos, con la finalidad de obtener productos orgánicos, es necesario conocer las propiedades tanto químicas como físicas de la cascarilla del café, ya que dichas características determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar.

Según (IICA, Matagalpa Nicaragua. PROMECAFE, 1992), la cascarilla de café tiene la siguiente composición química: contenido de humedad de 7,6 %, materia seca 92,8 %, extracto etéreo 0,6 %, nitrógeno 0,39 %, cenizas 0,5 %, extracto libre de nitrógeno 18,9 %, calcio y Magnesio 150 mg y fósforo 28 mg.

De acuerdo a estudios realizados por (Betancourt, 2005), el cisco o cascarilla del café presenta las siguientes propiedades:

- El poder calorífico es de aproximadamente 7458 Kcal/Kg.
- El porcentaje de cenizas es de aproximadamente 0.6 %.
- Su humedad promedio es de 5.4 %.
- El material volátil es de 87.7 %.
- Densidad aparente promedio 0.33 g / cm³.
- El tamaño de las partículas oscila entre 0.425 y 2.36 mm de diámetro.

Tomando en cuenta estas propiedades sobre todo el poder calorífico, se puede considerar una materia prima apta para la elaboración de briquetas.

1.6.2.2. Usos, aplicaciones y derivados de la cascarilla del café

Por el alto contenido de celulosa y su poder calorífico, la cascarilla de café se utiliza como material de combustión en el secado del café en algunos beneficios, al igual se ha centrado en las aplicaciones como el biocompost y sustratos de algunos cultivos.

Como resultado de algunas investigaciones se encontró que a partir de este producto se puede obtener plásticos, cartones, briquetas y como ingrediente en concentrado para alimentación en búfalos, entre otras. (Salazar, Garcia, & Olaya).

A continuación se describen los diferentes usos y aplicaciones de la cascarilla de café, la cual posee características energéticas en diferentes condiciones como se puede observar:

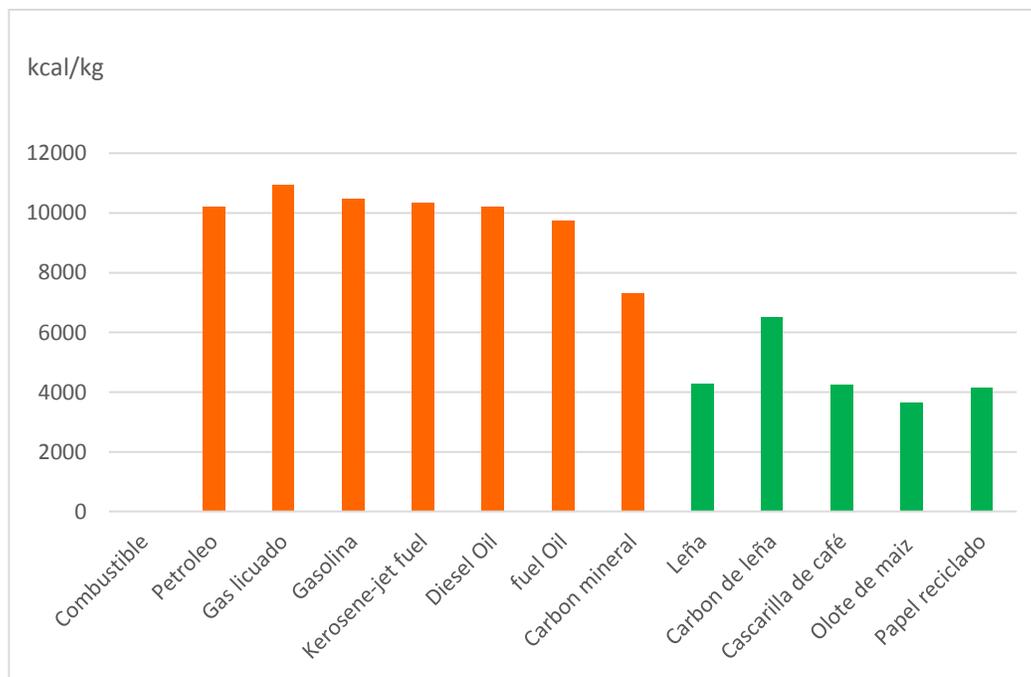
Fuente de las figuras: potencial de la cascarilla de café como fuente de energía, combustible y químicos Dr. Justinus A. Satrio Departamento de Ingeniería Química & Centro de Avance y Sustentabilidad en Ingeniería de la Universidad de Villanova (VCASE).

Figura 4. Usos del café y derivados



Fuente: Satrio, 2012.

Figura 5. Comparativo de combustibles fósiles y biomasa



Fuente: Biblioteca de la UNS Perú.

1.6.3. Olote de maíz

El residuo del desgranado del maíz se conoce como olote de maíz, un tejido esponjoso y blanco que representa la médula donde se almacenan las reservas alimenticias del cereal. Está compuesto con base seca por celulosa (45 %), hemicelulosa (35 %) y lignina (15 %), de los cuales la hemicelulosa se compone mayoritariamente por xilano de olote (28-35 % base seca) uno de los heteroxilanos complejos que contiene residuos de xilosa con enlaces -1,4 (Saha y Bothast, 1999).

El xilano de olote de maíz se compone principalmente de xilosa (48-54 %), arabinosa (33-35 %), galactosa (5-11 %) y ácido.

El olote del maíz se encuentra entre las fuentes de recursos no maderables con un alto contenido de xilanas, por lo que ha sido considerado de interés como fuente alternativa de diferentes compuestos químicos de interés comercial o industrial, entre otras fuentes de biomasa (Jhon Alexander Córdobaac E. S., 2013). El olote es un residuo o subproducto agrícola que se genera en grandes cantidades en el proceso de separación del grano de la mazorca y se estima que por cada tonelada de maíz se obtienen 170 kg de olote (Jhon Alexander Córdobaac E. S., 2013).

Figura 6. **Olote entero**



Fuente: elaboración propia.

Es importante señalar que el término residuo hace alusión a aquellas materias originadas en las actividades de producción y consumo que no han alcanzado, en el contexto en que se producen, ningún valor económico; ello puede deberse tanto a la falta de tecnología adecuada para su transformación y aprovechamiento, así como a la existencia de un limitado mercado para los productos recuperados (Costa et al, 1991). De datos recientes sobre la producción mundial de maíz en el 2010 (844 millones de toneladas) puede estimarse que se generan alrededor de 144 millones de toneladas de olote por año (FAOSTAT, 2012) glucurónico (3-6 %) (Doner y Hicks, 1997; Saha y Col., 2003). Estas características le confieren al olote la posibilidad de ser empleado como sustrato en la producción de la enzima xilanasa. Siendo necesaria la valoración de sus principales productos (lignina, celulosa y hemicelulosas), los cuales son aptos para una eficiente combustión.

Tabla II. **Humedad y poder calorífico del olote y otros residuos**

Tipo de residuo	Contenido de humedad (%Bh)	Densidad aparente (Kg/m ³)	Calor de combustión (kCal/kg)	% de peso producido inicial
Cascarilla de arroz	10	130	3672	23
Olote de maíz	21	200	3643	17
Cascarilla de café	11	284	4250	11.8
Cascarilla de coquito de palma africana	25	560	4200	ND
Bagazo de caña de azúcar	56	100	1825	31
Cascarilla de cacao	ND	ND	ND	12

Fuente: Biblioteca de la UNS Perú.

1.6.4. Diseño de briquetas

Es la compactación a presión de la biomasa de forma uniforme, lo que hace que éstas sean aptas para su combustión, ecológicas, fáciles de transportar y limpias en su manipulación.

Las briquetas son un producto 100 % ecológico y renovable, catalogado como biomasa sólida, que suele tener forma de cilindro o ladrillo compacto, con alto poder calorífico y bajo contenido en cenizas. Las briquetas son cilindros de 50 a 130 mm de longitud y de diámetro estimado de 5 a 30 mm, se fabrican por medio de prensas, en las que el material es sometido a altas presiones y se calienta, produciendo en su interior procesos termoquímicos que generan productos adherentes que favorecen la cohesión del material. También se pueden añadir adherentes artificiales, para facilitar la cohesión del material y reducir la presión de prensado.

En este proyecto se utiliza como materia prima para la elaboración de briquetas, el aserrín producto del corte de maderas, la cascarilla de café, y el olote, como alternativa para la reducción de leña en el área urbana de San Juan Sacatepéquez.

1.6.4.1. Densificación de la biomasa

La densificación es un proceso de compresión y compactación de la biomasa residual (aserrines, virutas, astillas y leñas) que permite aumentar su densidad y modificar sus propiedades físico químicas, para obtener un combustible de

características más eficientes y de fácil almacenamiento. En vista que los subproductos generados en las industrias de transformación y elaboración secundaria de la madera ocupan volúmenes de hasta el 25-30 % de la materia prima utilizada, el proceso de densificación permitirá almacenar considerables cantidades de energía, reduciendo la necesidad de espacio y posibilitando que se mantenga siempre seca fácilmente.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Diagnóstico del consumo de leña

El consumo de leña en San Juan Sacatepéquez, está alimentado por un alto porcentaje de tala ilegal, por lo que se realizó una investigación a la tala no controlada y los impactos en las pérdidas económicas en el sector público, pérdidas por el agotamiento y degradación de los recursos forestales, coordinada por el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar, la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, La Embajada del Reino de los países bajos, The Netherlands Organization for International Cooperation in Higher Education (NUFFIC).

Los informes derivados de la investigación, indican que del 100 % de ilegalidad, el 70 % es para consumo de leña y el 30 % en productos maderables. Se estima que en el municipio se consumen entre 147,525 a 184,542 m³ /año de leña en los hogares y unos 220 m³ en la pequeña industria de alimentos (estadísticas del INAB, base de datos del PINFOR y PPAFD/PARPA/MAGA).

La cobertura forestal: 15,458 ha, que representan el 57 % del área del municipio. La regeneración natural del bosque se estima en 588 ha y la pérdida de bosque es equivalente (INAB, 2010) a 1,223 ha para un período de 10 años (1991- 2001). Esto refleja una pérdida neta de 60 ha por año.

El alto consumo de leña está respaldado en la tala ilegal, la falta de control por parte de las autoridades responsables y la deficiente utilización de la leña como energético para la cocción de alimentos y calentar el ambiente interno de la casa.

El 68 % de la población del área urbana del municipio de San Juan Sacatepéquez consume leña en su mayoría de tala ilegal, disminuyendo así, las reservas forestales del municipio, ocasionando desequilibrio ambiental en relación a la baja producción de oxígeno, aumento de dióxido de carbono.

La escasa capacidad económica y la educación escolar son otras causas que contribuyen a la deforestación en san Juan Sacatepéquez, haciendo un uso deficiente de la leña. el 87.3 % corresponde a la tala no controlada y el 12.3 % a la tala controlada. (INAB, 2010).

Se estima un consumo per cápita de 1.28 m³/año/habitante de acuerdo con el consumo y 1.60 m³/año/habitante de acuerdo con lo que compra más recolecta. Se consideró la compra de leña por carga o tarea, y se unificó el valor a una tarea de leña para posteriormente convertirlo a precio de un m³, obteniendo un valor de Q.248.72. En relación al consumo en la pequeña industria de alimentos se estiman 220 m³/año.

El presente proyecto tiene por objetivo determinar la viabilidad técnica y financiera en la implementación de briquetas, para la reducción del consumo de leña en el área urbana de San Juan Sacatepéquez como sustituto de la leña disminuir la deforestación ilegal.

2.2. Análisis estadístico del poder calorífico de biomasas

Es importante identificar el comportamiento de cada biomasa disponible respecto a su poder calorífico, de lo cual se puede seleccionar la biomasa que tenga los valores que más se adapten a las necesidades a cubrir en esta oportunidad, de la tabla siguiente, se determina el valor medio, la desviación y varianza entre los valores de poder calorífico:

Cálculo de la media, según fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Media = 4018.2

Cálculo de la varianza:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}}$$

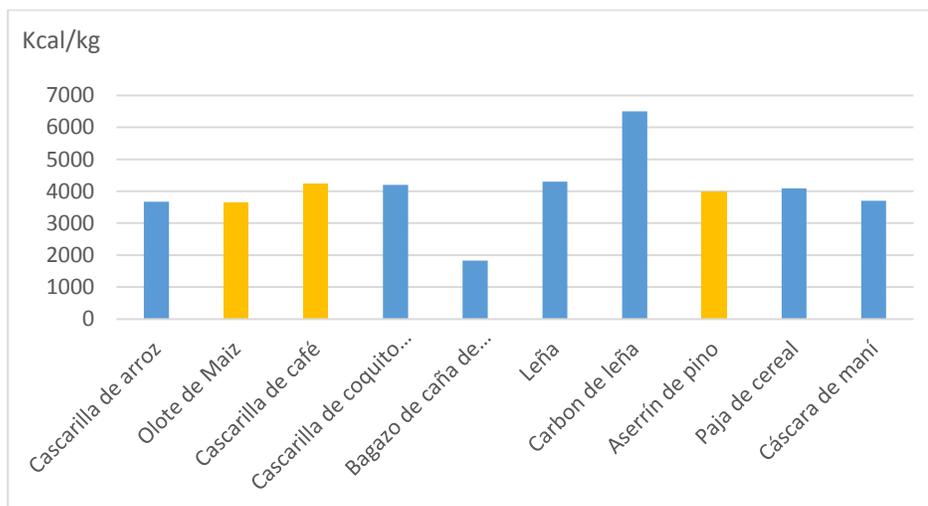
Coeficiente de variación: desviacion/media = $C.V. = \frac{S}{\bar{X}} * 100$

Tabla III. **Análisis estadístico de poder calorífico**

Biomasa	Poder calorífico kcal/kg	$x - \bar{X}$	$(x - \bar{X})^2$
Cascarilla de arroz	3672	-346.2	119854.44
Olote de maíz	3643	-375.2	140775.04
Cascarilla de café	4250	231.8	53731.24
Cascarilla de coquito de palma africana	4200	181.8	33051.24
Bagazo de caña de azúcar	1825	-2193.2	4810126.24
Leña	4300	281.8	79411.24
Carbon de leña	6500	2481.8	6159331.24
Aserrín de pino	4000	-18.2	331.24
Paja de cereal	4092	73.8	5446.44
Cáscara de maní	3700	-318.2	101251.24
TOTAL	40182	TOTAL	11503309.6
Media:	4018.2		
		Varianza S^2	1278145.51
		Desviación $S=$	1130.55098
		Coefficiente de variación	0.28135757

Fuente: TRANSBIOMA, 2012 . Cuarto Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Iguazu , 2013

Figura 7. **Gráfica de poder calorífico de biomásas**



Fuente: elaboración propia.

De las biomásas analizadas, se eligen las nativas y que tengan un poder calorífico próximo al de la leña, debido a este combustible que se desea sustituir y la disponibilidad de las biomásas en el municipio de San Juan Sacatepéquez. Por lo cual se eligen los residuos agrícolas del municipio como los siguientes:

Aserrín de pino de la especie predominante (Pinus Rudis y Montezumae)

Olote de maíz

Cáscara de café.

Estos residuos son los que se generan en las actividades agrícolas e industriales de San Juan Sacatepéquez, por lo cual su disponibilidad favorece a la elaboración de la briqueta como sustituto de leña como recurso energético.

2.2.1. Disponibilidad de aserrín

Según información del SIFGUA (Sistema Nacional de Información Forestal de Guatemala), en el municipio operan 13 Industrias Forestales y 7 depósitos forestales, produciendo un estimado de 5,681 kilogramos de aserrín con un precio promedio de Q 0.35/kg.

2.2.2. Disponibilidad de olote

Según el IV censo Agropecuario del Ministerio de Agricultura y Ganadería y el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA. 2016), en los resultados de su investigación de la actividad forestal en San Juan Sacatepéquez en diciembre del 2009, determina la actividad agrícola en hectáreas como se describe en la siguiente tabla:

Tabla IV. **Hectáreas por actividad agrícola**

Actividad	Hectáreas
Agricultura anual	7551.07
siembra de maíz	718
Agricultura permanente	Hectáreas
Café	588.06
Aguacate	16.44
Huertos, viveros y hortalizas	399.79

Fuente: IARNA, 2009. Instituto Nacional de Estadística, 2004.

Según el ICTA en su Manual de cultivo de maíz en Guatemala, determina que de una hectárea se obtienen 1.7 toneladas de maíz y un estimado de 170 kilogramos de olote por tonelada, de acuerdo a estos datos, se determina la disponibilidad de olote para la elaboración de briquetas.

El cálculo de olote por semana se basa en el rendimiento por hectárea:

1.7 toneladas de maíz rinde 289 kilogramos de olote

1 hectárea tiene un rendimiento de 289 kilogramos

718 hectáreas de maíz un rendimiento de 207,502 kilogramos de olote anual.

2.2.3. Disponibilidad de cascarilla de café

En San Juan Sacatepéquez se está desarrollando la producción cafetalera, en 2013 se conformó la cooperativa CIACAFE, la cual integra a los caficultores del municipio, datos proporcionados por ANACAFE, la producción actual se ubica en 6,363 kilogramos de café pergamino al año y con planes de crecimiento de este sector.

2.3. Diseño de briquetas

La fabricación de briquetas, proceso también llamado briquetado, tiene como objetivo la compactación de la biomasa de forma uniforme.

Las briquetas son un producto 100% ecológico y renovable, catalogado como biomasa sólida, que suele tener forma de cilindro o ladrillo compacto, con alto poder calorífico y bajo contenido en cenizas.

En este proyecto se utiliza como materia prima para la elaboración de briquetas, el aserrín producto del corte de maderas, la cascarilla de café, y el olote, como alternativa para la reducción de leña en el municipio de San Juan Sacatepéquez.

La homogenización de estos tres residuos, permite aumentar su densidad y mejorar sus propiedades físico químicas para obtener un combustible de características más eficientes y de fácil almacenamiento respecto a la leña u otra biomasa en estado original.

2.4. Diseño de la máquina para fabricar briquetas

Se diseña un mecanismo para la elaboración de las briquetas, este equipo consta de un marco fijo de cuatro bases con un tubo en la parte central con un

diámetro de 5.5 cm., este tubo tiene agujeros por donde debe salir el agua al momento de aplicar presión, por medio de un dispositivo hidráulico o mecánico.

Figura 8. **Briquetadora manual**



Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Procesos para la obtención de las biomasas**

Aserrín	Olote	Cascarilla de café	Aglutinante(papel)
Recolección	Recolección	Recolección	Recolección
Transporte	Transporte	Transporte	Picado(recorte)
Inspección	Inspección	Inspección	Remojado
Cernido	Triturado	Cernido	Adherido a mezcla
60 %	10 %	25 %	5 %

Fuente: elaboración propia.

2.4.1. Procedimiento para elaborar la briqueta

Paso 1: Uniformizar las partículas de cada biomasa (Aserrín, Cascarilla de café y olote), en este paso, el olote necesita pasar por un molino de martillos, para disminuir el tamaño de sus partículas entre 5 mm y 8 mm, para ello se utiliza un molino de martillos como el que se muestra en la siguiente figura, el cual está ubicado en el laboratorio de maderas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos.

Figura 9.

Molino de martillos



Fuente: Laboratorio de Maderas, Facultad de Ingeniería USAC.

Paso 2: Homogenización de aserrín, cascarilla de café, olote y papel periódico como aglutinante

Figura 10. **Mezcla de biomásas**



Fuente: elaboración propia.

Paso 3: Con los residuos de aserrín, olote triturado y cáscara de café mezclados en agua, se procedió a llenar el molde donde se aplica presión para la formación de la briqueta.

Figura 11. **Aplicación de presión a la briqueta**



Fuente: elaboración propia.

Paso 4: Se procede a la extracción de la briqueta compactada, por aplicación de presión en la parte superior y sujetandola por la parte inferior de la máquina briquetadora.

Figura 12. **Extracción de la briqueta**



Fuente: elaboración propia.

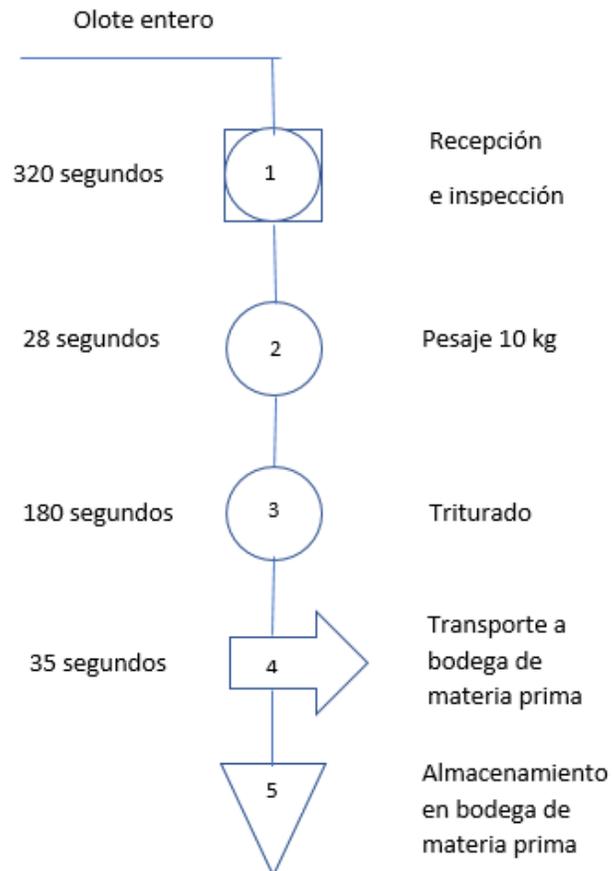
Paso 5: Posteriormente, se coloca para secado al natural para extraerle toda la humedad posible hasta llegar a menos del 10 %. Una vez la briqueta seca a un 8 % de humedad, se procede a realizar pruebas de encendido, Combustión, durabilidad, manejo, temperatura, poder calorífico y almacenamiento, estos datos se representan en tablas, gráficas de barras y lineales.

Paso 6: empaque

Paso 7: Almacenamiento en condiciones adecuadas.

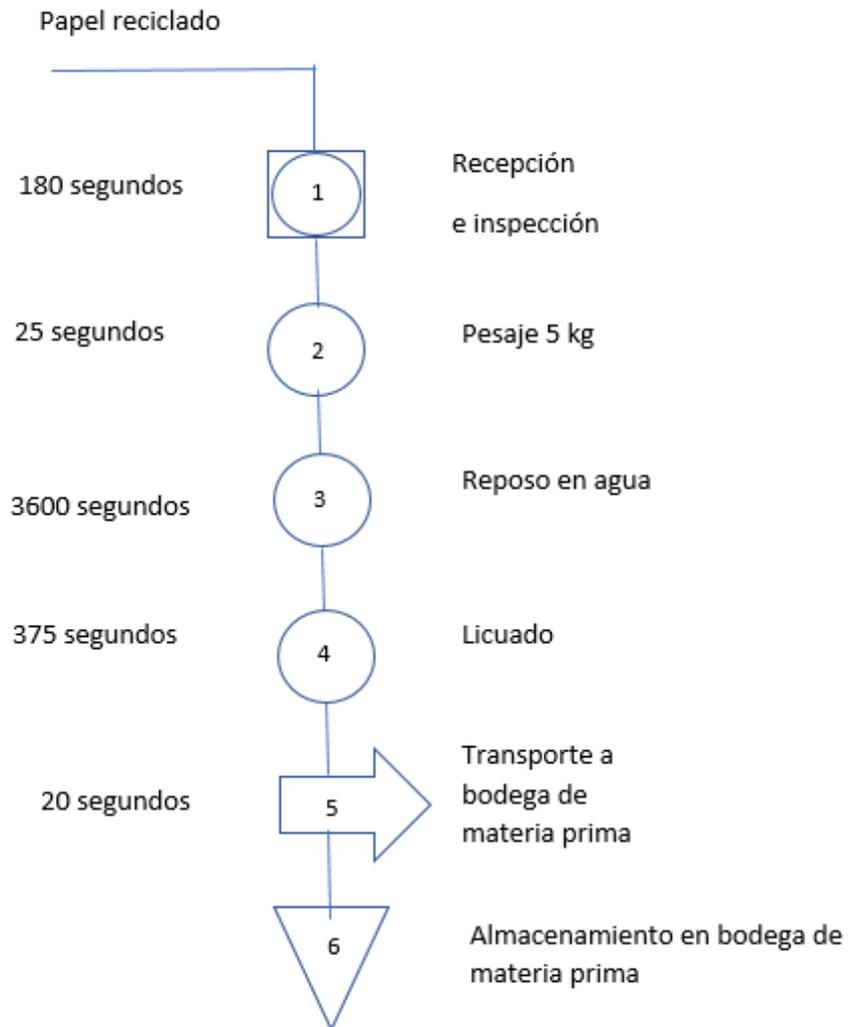
2.4.2. Diagramas de flujo para la elaboración de briquetas

Figura 13. Diagrama de flujo del olote



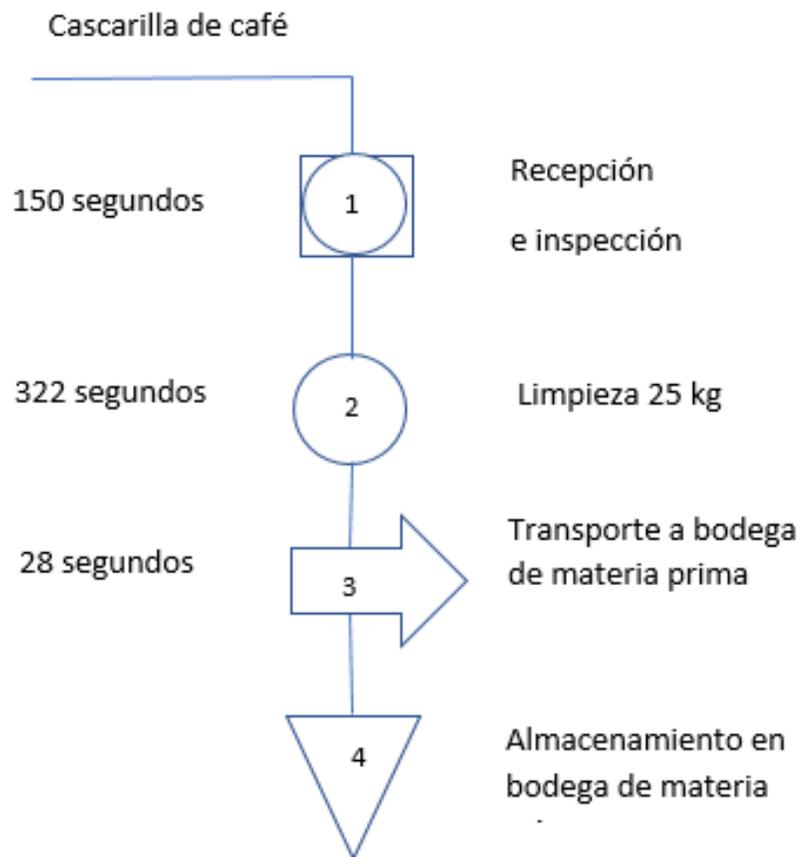
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Diagrama de flujo de papel como aglutinante



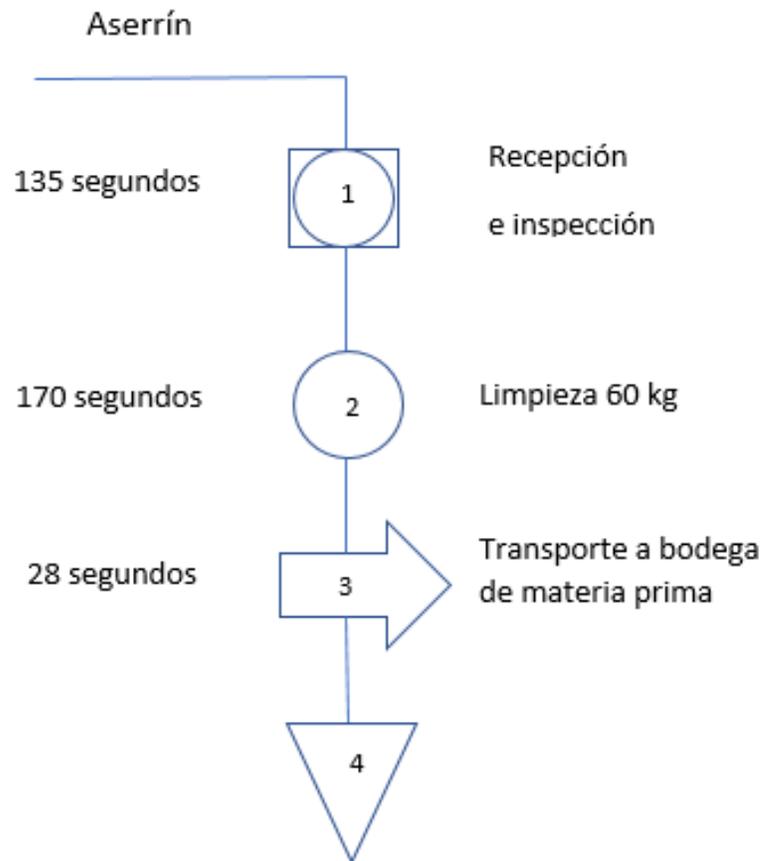
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Diagrama de flujo de cáscarilla de café



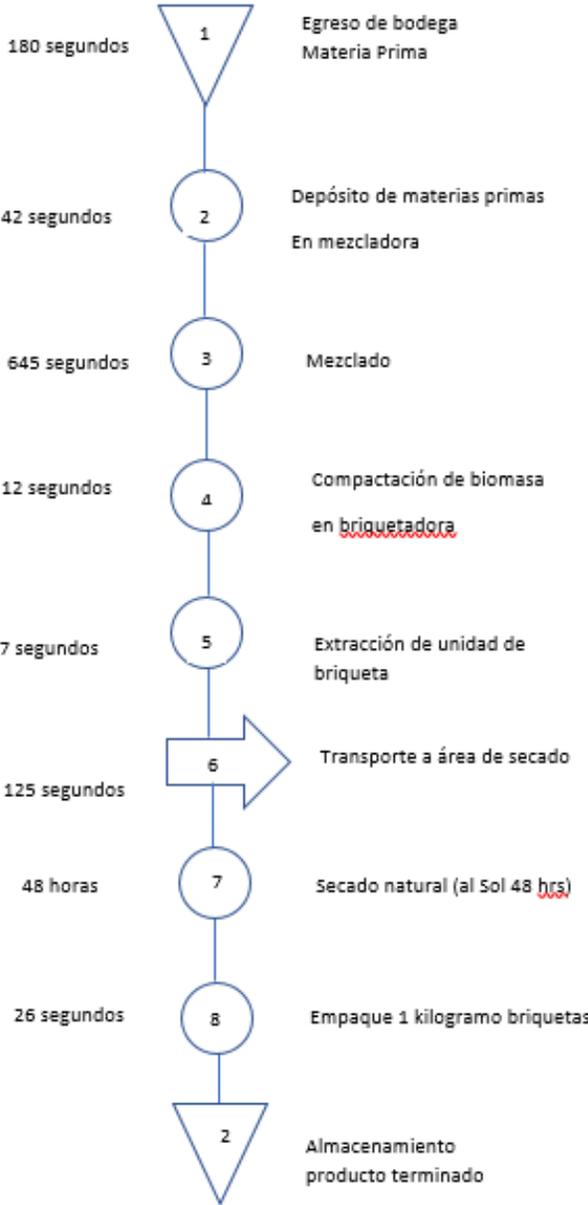
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Diagrama de flujo de aserrín**



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Diagrama de flujo para elaboración de briqueta**
 Aserrín 60% , Cascarilla de café 25 % olote 10 % aglutinante 5 %



Fuente: elaboración propia.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Cálculo de eficiencias

Se realiza una comparación de eficiencia con leña procedente de pino, de la especie *Pinus Tenuifolia* (Veblen), predominante en el municipio. Los datos son presentados en tablas comparativas, donde se puede observar el comportamiento de cada biomasa cuando son sometidas al proceso de combustión.

$$\text{Eficiencia de la cascarilla de café} = \frac{\text{Poder calorífico cascarilla de café}}{\text{Poder calorífico leña}} \times 100.$$

$$= 4250 \text{ kcal/kg} / 4300 \text{ kcal/kg} * 100 = \mathbf{98 \%}$$

$$\text{Eficiencia de olote} = \frac{\text{Poder calorífico del olote}}{\text{Poder calorífico leña}} \times 100$$

$$= 3643 \text{ kcal/kg} / 4300 \text{ kcal/kg} * 100 = \mathbf{84 \%}$$

Tabla VI. **Eficiencia de combustión de residuos**

Leña	Cascarilla de café	Olote
100 %	98 %	84 %

Fuente: elaboración propia.

Mediante la investigación a las industrias forestales, se determinó que se generan 6,818 kilogramos de aserrín que viene a ser la materia prima, para elaborar la briqueta con un 60 % de contenido en la misma, un 25 % de cascarilla de café, debido a que es una biomasa sólida con alto poder calorífico y es un cultivo en crecimiento en San Juan, en el caso del olote forma parte de la briqueta en un 15 % su poder calorífico es menor que el aserrín y la cascarilla de café, se incluye en la briqueta para aprovechar la cantidad disponible y funcionalidad como biomasa combustible y alcanzar mayor área en hectáreas no taladas ilegalmente.

3.2. Tiempo de Combustión de 0.5 kilogramos de briquetas

En la combustión, se determinó que la briqueta enciende dentro de los primeros diez segundos, empezando con un aporte de calor efectivo a los 30 segundos, manteniendo su llama hasta los 35 minutos posteriormente mantiene brasa durante 30 minutos.

Figura 18. **Combustión de 0.5 kilogramos de briquetas**



Fuente: elaboración propia.

3.3. Cálculo de densidad final de la briqueta

Para determinar la densidad de la briqueta se toman en cuenta las dimensiones de la misma y su peso, como se describe a continuación:

Figura 19. **Peso en gramos de briqueta:**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Dimensiones de briqueta**

Largo de briqueta:



Diámetro



Fuente: elaboración propia.

$$\text{Volumen} = h\pi r^2$$

$$\text{Altura} = 6.5 \text{ cm}$$

$$\text{Diámetro} = 5 \text{ cm}$$

Radio = 2.5 cm

$$V = 6.5\text{cm} \times 3.1416 \times (2.5\text{cm})^2$$

$$V = 127.62 \text{ cm}^3$$

$$\text{Masa} = 50 \text{ gr}$$

$$\text{Densidad} = m/v$$

$$\text{Densidad} = 50 \text{ gr} / 127.62 \text{ cm}^3$$

$$\text{Densidad} = 0.39 \text{ gr/cm}^3$$

Realizando la conversión a m^3

$$\text{Densidad} = \mathbf{509 \text{ kg/m}^3}$$

Esta densidad de 509 kg/m^3 , es la que se obtiene con el proceso manual de producción de briquetas, es importante mencionar que la densidad puede aumentar de acuerdo al equipo que se utilice para su producción, dependiendo de la presión que se aplique a la biomasa.

A continuación se detallan las diferentes densidades de briquetas de acuerdo al proceso de elaboración:

Tabla VII. **Densidad de briquetas, según tecnología**

Tecnología	Costo	Capacidad de producción	Densidad gr/cm^3
Tornillo de presión	1,350	150 kg/hr	1-1.4 gr/cm^3
Pistón de presión	20,000-30,000	200-2500kg/hr	1-1.2 gr/cm^3
Rollo de presión	14,000-19,000	900-1500 kg/hr	0.6-0.7 gr/cm^3
Peletizado		200-8000 kg/hr	0.7-0.8 gr/cm^3
Aglomerador		sin inf.	0.4-0.5 gr/cm^3
Manual	150	6 kg/hr	0.39 gr/cm^3

Fuente: Bioenergía, seguridad alimentaria y evaluación rápida, 2014.

En la tecnología manual que se utiliza en este proyecto, se determina la densidad en 0.39 gr/cm³ o bien 509 kg/m³.

Tabla VIII. **Poder calorífico de biomosas**

Biomasa	kcal/kg
Aserrín de conifera	4000
Cascarilla de café	4250
olote de maíz	3643
papel	4150
Total	16043
Media	4010.75

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo al poder calorífico de cada residuo y su disponibilidad en el municipio de San Juan Sacatepéquez, se procede a mezclar proporcionalmente cada biomasa para mantener el óptimo poder calorífico de la briqueta.

Para las proporciones de biomasa, se toma en cuenta el objetivo de gestionar eficientemente el aserrín, para estimar las hectáreas que se pueden evitar talar, es por ello que el aserrín ocupa un 60 % en la formulación de la briqueta, además de poseer un alto poder calorífico en relación al del olote que tiene menos poder calorífico.

Tabla IX. **Porcentajes de biomasa por kilo de briqueta**

Biomasa	% del componente
Aserrín	60
Cascarilla de café	25
Olote de maíz	10
Aglutinante natural (papel, cartón)	5

Fuente: elaboración propia.

Tomando como base el poder calorífico y la eficiencia de cada elemento, la briqueta adquiere un poder calorífico promedio de 4,010 kcal/kg. Y una eficiencia respecto a la leña de 98 %.

En pruebas de combustión, las biomásas obtuvieron los siguientes valores, la tabla muestra el comportamiento entre la leña, el carbón vegetal y la briqueta diseñada:

Tabla X. **Comparación de biomásas**

Variable	Leña 1kg	Carbón 1 kg	Briqueta 1kg
Tiempo de Encendido	20 minutos	12 minutos	1 minuto
Calor efectivo	45 minutos	80 minutos	55 minutos
Llama	18 minutos	10 minutos	25 minutos
Brasa	37 minutos	80 minutos	55 minutos
Humo	Negro	Negro	Blanco
Manipulación y almacenaje	Rústico, grandes espacios para almacenar	Quebradizo, polvo contaminante	Fácil manejo Espacios pequeños de almacenamiento

Fuente: elaboración propia.

3.4. **Maquinaria y equipo de producción:**

A continuación se listan las herramientas y maquinaria, necesaria para la elaboración de briquetas.

Máquina briquetadora

Paletas de madera

Cubetas plásticas

Bandejas

Dispositivo hidráulico

Molino de martillos

Mesa de trabajo

Cronómetro

Balanza

Metro

Bolsas para empaque

Fósforos para encendido.

3.5. Proporción de materias primas por metro cúbico de briquetas

Para determinar la cantidad de cada biomasa que forman la briqueta, se procede a pesar un kilogramo de mezcla preparada para formar la briqueta, esto es un 60 % de aserrín, 25 % de cascarilla de café, 10 de olote y 5 % de aglutinante que puede ser papel periódico, papel reciclado o cartón.

La densidad de la leña seca es de 500kg/m³, dato que se toma de referencia para determinar las cantidades necesarias de cada elemento residual que conforman 1m³ de briquetas, se desglosa en la siguiente tabla:

Tabla XI. **Biomasa por m³ de briqueta**

Biomasa	Porcentaje	Kilogramos
Aserrín	60	300
Cascarilla de café	25	125
Olote triturado	10	50
Aglutinante natural	5	25
Total	100	500

Fuente: elaboración propia.

El consumo per cápita de leña es de 1.28 m³ al año, la cantidad de aserrín y demás elementos necesarios para la fabricación de 1.28m³ de briquetas se estima en la siguiente tabla:

Tabla XII. **Biomasa requerida para 1.28 m³ de briquetas**

Biomasa	Porcentaje	Kilogramos
Aserrín	60	384
Cascarilla de café	25	160
Olote	10	64
Aglutinante natural	5	32
	100	640

Fuente: elaboración propia.

La demanda anual per cápita de aserrín es de 384 kilogramos para 1.28m³ de briquetas. Partiendo de esta información, se procede a calcular la cantidad de aserrín necesaria anualmente para cubrir el consumo de leña total en el municipio de San Juan Sacatepéquez.

Basados en la información del Sistema de Información forestal, 13 industrias forestales y 7 depósitos forestales se genera un promedio de 200 sacos de aserrín semanalmente, equivalentes a 5,681 kilogramos por semana.

Una hectárea de bosque se extraen en promedio 112 m³ de leña (Instituto Nacional de Bosques INAB).

Esta disponibilidad de 5,681 kilogramos se toma como el 60 % de aserrín de la fórmula total de residuos para un metro cúbico de leña, se procede a calcular la cantidad de aserrín necesario:

Tabla XIII. **Disponibilidad de biomasa por semana**

Biomasa	Porcentaje	Kilogramos
Aserrín	60	5,681
Cascarilla de café	25	2,361
Olote	10	947
Papel reciclado	5	473
Total materia prima	100	9,462

Fuente: elaboración propia.

Un metro cúbico de leña pesa 500 kg (Tienda de Biomasa)

Los kilogramos necesarios de biomasa por hectárea, es el siguiente:

$$500 \text{ kg/m}^3 \times 112 \text{ m}^3/3/\text{ha.} = 56,000 \text{ kg/ha.}$$

El cálculo de kilogramos necesarios para las 60 hectáreas de la siguiente manera:

$$56,000 \text{ kg/ha} \times 60 \text{ ha} = \mathbf{3,360,000 \text{ kg}}$$

Partiendo de este resultado, se calcula el máximo de hectáreas que se alcanzan cubrir con la disponibilidad de biomasa.

Tabla XIV. **Biomasa disponible anual para producción de briquetas**

Un año = 52 semanas

Biomasa	Porcentaje	Kg/semana	Kg/año
Aserrín	60	5,681	295,412
Cascarilla de café	25	2,361	122,772
Olote	10	947	49,244
Papel reciclado	5	473	24,605
Total	100	9,462	492,033

Fuente: elaboración propia.

La biomasa total requerida para procesar la biomasa disponible de aserrín, es de 492,033 kilogramos, en el caso de cascarilla de café, es necesario trasladados de otras regiones donde se produce café a mayor escala. un metro cúbico de leña pesa 500 kg (Tienda de Biomasa).

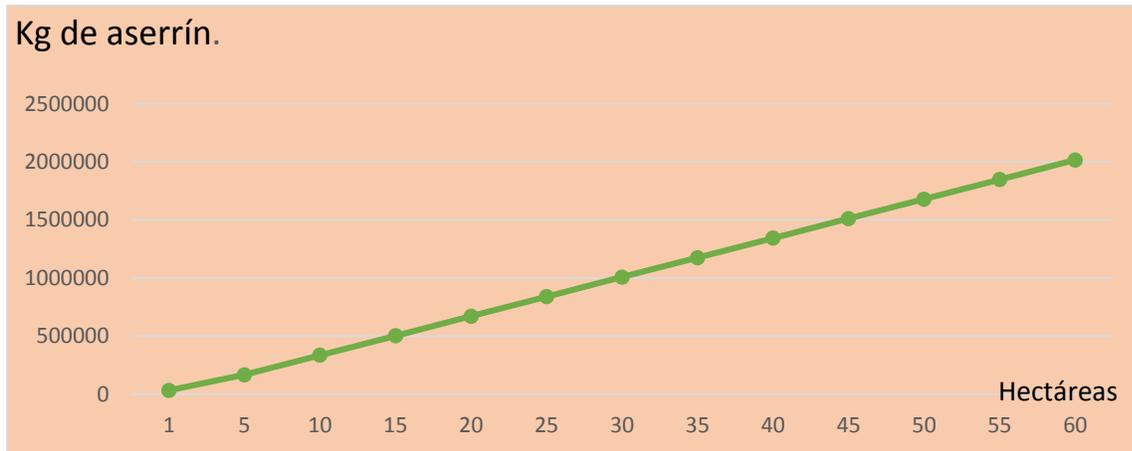
Si de una hectárea se extrae el estimado de 112m³ de leña, la relación con la cantidad de kilogramos de briquetas es el siguiente:

$$\frac{492,033 \text{ kg}}{500 \text{ kg/m}^3} = \mathbf{984.066 \text{ m}^3} \text{ de briquetas disponibles por año}$$

El cálculo de hectáreas cubiertas con la producción de briquetas es el siguiente:

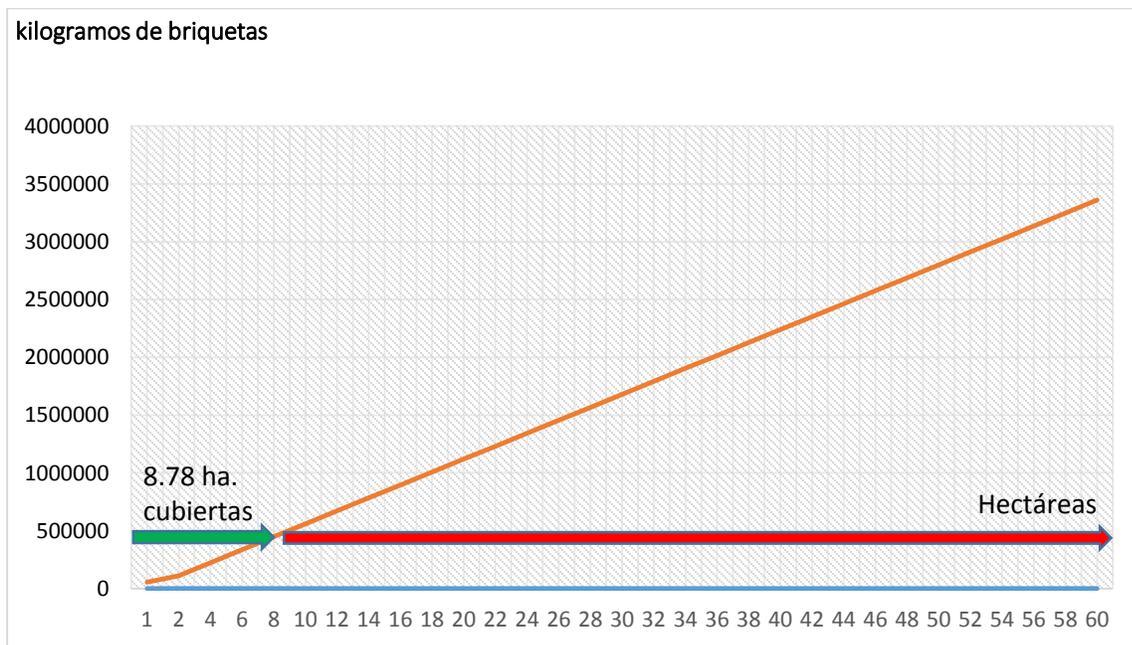
$$\frac{984.066 \text{ m}^3}{112^3/\text{ha}} = \mathbf{8.78 \text{ ha/año}}$$

Figura 21. **Kilogramos de aserrín necesarios por hectárea de bosque**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Hectáreas cubiertas por kilogramos de briquetas**



Fuente: elaboración propia.

La gráfica anterior indica que con una producción de 984.066 m³ de briquetas, se contribuye a preservar 8.78 hectáreas de bosque por año, quedando un déficit de 51.22 hectáreas, para las cuales es necesario implementar otros proyectos en conjunto con sectores involucrados en el bienestar del municipio.

3.6. Capacitación de uso eficiente de briquetas

Las briquetas como producto energético sustituto de la leña, deben ser presentadas con una inducción adecuada para transmitir su efectividad a los consumidores, en este caso, la población de San Juan Sacatepéquez que actualmente usa leña que en alto porcentaje es de tala ilegal. Haciendo uso de los medios informativos como radios comunitarias, medios impresos y asesoría técnica a grupo de mujeres o personas involucradas, en reuniones periódicas en las instalaciones de la municipalidad.

Uno de los objetivos de esta investigación es determinar la cantidad de hectáreas de bosque que se evitan talar con el uso sostenible de la biomasa analizada.

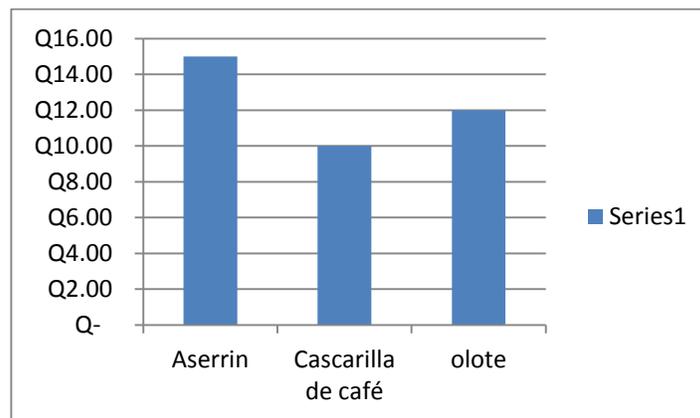
3.7. Análisis financiero

3.7.1. Costo de residuos de biomasa en campo

Estos residuos actualmente no tienen definido un valor económico, por lo que cada generador del mismo decide un precio simbólico que oscila entre 10 y 15 quetzales el quintal, para este proyecto, lo cual es importante para estimar costos en la producción de briquetas. Estos costos pueden variar de acuerdo a la temporada del año, por lo que se

hace una estimación de variación de precio como se muestra en la gráfica siguiente:

Figura 23. **Costos de biomásas por saco de 50 Kilos**



Fuente: elaboración propia.

3.7.2. **Determinación de costos**

De acuerdo a la información anterior, se procede a calcular costos unitarios para determinar el costo de materia prima y producción de briquetas

50 kilogramos de aserrín tiene un costo estimado de Q15.00

el costo de 1 kilogramo = Q0.30

de acuerdo al 60 % de aserrín que contiene la briqueta

costo del 60 % de un kilogramo de aserrín = Q 0.18

50 kilogramos de cascarilla de café un costo estimado de Q 10.00

costo de 1 kilogramo de cascarilla de café Q0.20

costo del 25 % de cascarilla de café = Q0.05

50 kilogramos de olote un costo estimado de Q12.00

costo de 1 kilogramo de olote = Q 0.24

costo del 10 % de olote = Q 0.024

1 kilogramo de papel reciclado como aglutinante natural = Q 1.00

costo del 5 % de papel reciclado = Q 0.05

3.7.2.1. Costo de materia prima

El costo de materia prima para la elaboración de 1 kilogramo de briquetas, se determina por la suma de los costos de los porcentajes anteriores:

60 % aserrín+25 % cascarilla de café+10 % olote+5 % papel = briqueta
 $0.18 + 0.05 + 0.024 + 0.05 = \mathbf{Q\ 0.30}$

Como proyecto socioeconómico, este costo directo de materia prima sería el que incurrirían los habitantes del área urbana y rural al momento de elaborar en sus hogares las briquetas para utilizarlas como combustible en la cocción de alimentos o calefacción de sus hogares.

En el caso de comercialización de briquetas con un proceso de producción manual o artesanal, es indispensable agregarle los siguientes costos:

Mano de obra

Energía eléctrica

Agua

Empaque

Transporte

% de utilidad por venta

3.7.2.2. Costo de mano de obra

Para el cálculo del costo de la mano de obra, se suman los tiempos que indican los diagramas de flujo, utilizados para la producción de un lote de 50 kg. de mezcla para briquetas:

Tiempos totales: 18,016 segundos, equivalente a 6 horas

el salario, según la ley laboral, el mínimo mensual es Q2,975.00/mes

Sueldo por día de 8 horas = Q 99.16

por hora = Q 12.40

Si el tiempo de producción de 50 kg. Es de 5 horas

el costo en mano de obra del lote = Q 62

el costo de mano de obra por kilogramo es el siguiente:

62 quetzales/50 kg = **1.24** Quetzales/kilogramo

3.7.2.3. Costo de energía eléctrica

El costo de electricidad por kilogramo de briqueta, se determina por el consumo de kilowatts/hora en la máquina licuadora de papel.

Potencia de licuadora: 0.6 kw

Costo de kw/hora = Q1.52

Tiempo de licuado: 352 segundos = 5.68 minutos

El costo de energía eléctrica por minuto es de Q 0.025

El costo agregado al kilogramo de briqueta: **Q 0.14**

Costos estimados del kilogramo de briqueta

Materia prima.....Q 0.30

Mano de obra.....Q 1.24

Energía eléctrica.....Q 0.14

Empaque.....Q 0.05

Transporte.....Q0.10

Costo total.....Q1.83

Costo por kilogramo de briqueta Q 1.83

3.7.3. Cálculo del valor presente neto y tasa interna de retorno

El valor presente neto y la tasa interna de retorno son herramientas financieras que muestran al inversionista, la rentabilidad del proyecto a futuro y la decisión de invertir.

Para este caso, se estima una inversión inicial de la siguiente manera:

Infraestructura.....	Q 475,000.00
Terreno, edificio, servicios básicos	
Maquinaria, equipo y vehículos.....	..Q 150,000.00
Estudios y licencias.....	Q 12,000.00
Total de la inversión inicial.....	Q 637,000.00

El flujo de efectivo proyectado es el costo por kilogramo de briqueta vendido, estimado en relación a la cantidad anual disponible de kilos de briquetas, según la tabla XIII, el disponible:

Disponible.....	492,336 kilogramos/año
Costo por kilogramo.....	Q 1.83 por kilogramo

Se estima el primer año un flujo de efectivo del 20 % de la disponibilidad de kilogramos de briquetas por año: Q 900,974.00, en los años siguientes se proyecta un incremento anual del 20 %.

Con los datos obtenidos, se procede a calcular el valor presente neto y la tasa interna de retorno:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad TIR = \sum_{T=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = 0$$

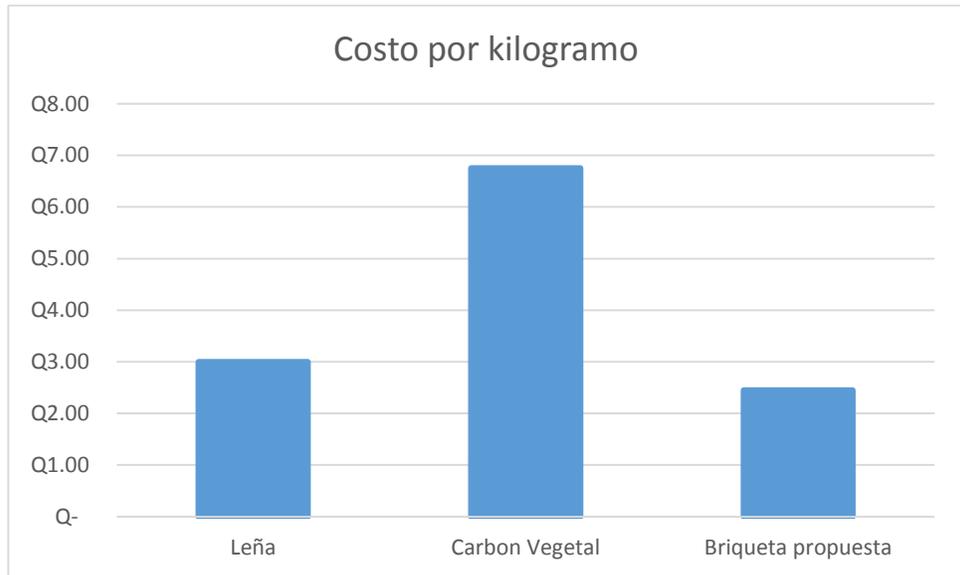
Tabla XV. Valor presente neto y tasa interna de retorno

Datos		
Inversion inicial	Q 637,000.00	
TREMA	25%	
Años	10	
Años	Fx	Cálculo VPN
0	-Q 637,000.00	-Q 637,000.00
1	Q 180,194.80	Q 144,155.84
2	Q 216,233.76	Q 138,389.61
3	Q 259,480.51	Q 132,854.02
4	Q 311,376.61	Q 127,539.86
5	Q 373,651.93	Q 122,438.26
6	Q 448,382.32	Q 117,540.73
7	Q 538,058.78	Q 112,839.10
8	Q 645,670.54	Q 108,325.54
9	Q 774,804.65	Q 103,992.52
10	Q 900,974.00	Q 96,741.35
	VPN	Q 567,816.84
	TIR	44%

Fuente: elaboración propia.

Según el valor obtenido por el método de VPN y TIR, es recomendable invertir en este proyecto de briquetas ecológicas, utilizando aserrín, cáscara de café, olote y papel como aglutinante, determinando que la biomasa tiene futuro energético y comercial.

Figura 24. **Comparación de precios de biocombustibles**



Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Disponibilidad de materia prima

En la investigación realizada, se determinó que no existe un manejo adecuado de los residuos generados en la industria maderera, en los cultivos de maíz y los residuos del café, estos residuos, en la actualidad están contaminando ríos y el medio ambiente. La cultura en el manejo de residuos no identifica el valor energético aprovechable.

Hasta la fecha ninguna autoridad, tanto municipal como del gobierno ha emprendido proyectos de manejo eficiente de residuos sólidos, muestra de ello es el procedimiento común de la quema de estos residuos en los terrenos dedicados a la siembra o terrenos sin ninguna ocupación, lo que ocasiona enfermedades oculares, respiratorias y gases de efecto invernadero.

De los tres residuos sólidos utilizados para elaborar la briqueta el aserrín es el de mayor disponibilidad, dado que está a granel en los aserraderos y carpinterías, por lo cual es accesible su recopilación, en el caso de la cascarilla de café, es una actividad que está en etapa de iniciación, debido a que en el año 2013, se conformó la cooperativa CIACAFE R.L. apoyada por Cementos Progreso, con el objetivo de coordinar el crecimiento de este producto por medio de el involucramiento de nuevas siembras de café. La disponibilidad de olote depende de la siembra de maíz, siendo esta, la actividad agrícola predominante en el municipio, los agricultores utilizan como abono, alimento para animales, o como material combustible en sus casas donde usan estufas a fuego abierto, ocasionando efectos a la salud de los mismos. Es por ello que se observa un

vacío de gestión para estos residuos, lo que viene a ser una oportunidad para disminuir la tala de bosque en forma ilegal, por medio del diseño de briquetas ecológicas como la que se propone en este proyecto.

Según los cálculos realizados, se determina que la briqueta tiene el menor costo que la leña y el carbón tal como se observa en la figura 24, debido a que estos residuos sólidos no tienen un valor económico definido, los precios varían de Q 5.00 a Q 15.00, para efectos de este proyecto se toma un precio de referencia de Q 12.00 las cien libras de aserrín, para determinar el costo de un kilogramo de briquetas.

4.2. Elaboración de la briqueta

Esta etapa es la definición del diseño, calidad y eficiencia de la briqueta dependiendo de la materia prima que se utilice para su elaboración, en este caso se utiliza un 60 por ciento de aserrín dado que sus propiedades mecánicas, físicas y caloríficas son similares que la leña, por lo que se espera que el producto final tenga un desempeño altamente eficiente. Continuando con pruebas e investigación, se determinó que el papel periódico, cartón o papel reciclado es un excelente aglutinante por el alto contenido de celulosa y lignina, pues es un derivado de la madera, este aglutinante poniéndose a remojar por dos horas y posteriormente se pasa por una batidora o licuadora industrial para formar una masa en condiciones de mezclarse con el aserrín, la cascarilla de café y el olote, forma una excelente adherencia sumado a la compactación por medio de la briquetadora manual tal como se muestra en la ilustración 6, utilizando un mecanismo hidráulico.

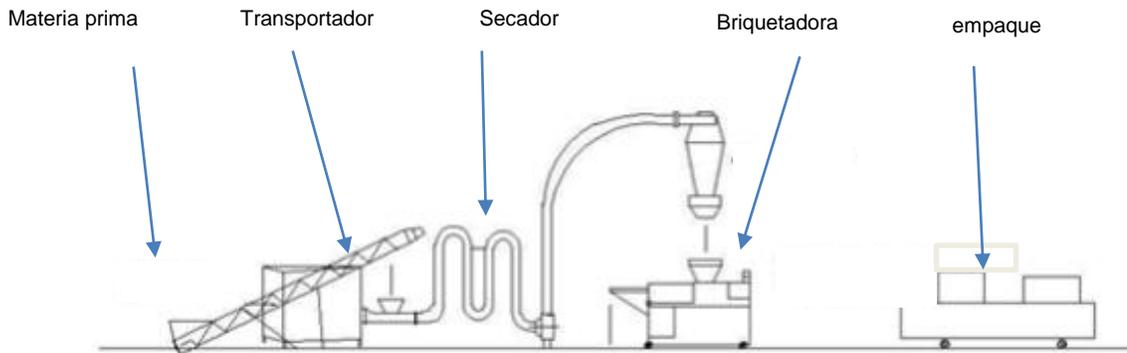
En la actualidad existen máquinas industriales briquetadoras, las cuales no necesitan aglutinantes, debido a que la alta temperatura y nivel de compresión,

hace una fundición con los aglutinantes naturales de los residuos utilizados, pueden ser uno o más residuos, la ventaja de esta maquinaria industrial es que la producción es mayor por hora y la desventaja son los costos de producción se incrementan, debido a que utiliza energía eléctrica trifásica para el funcionamiento de los motores con los que funcionan los pistones o tornillos sin fin de la prensa o máquina briquetadora. En Guatemala aún no se desarrolla este tipo de productos, debido a muchos factores que afectan la visibilidad y la responsabilidad de preservar el medio ambiente y el manejo de bosques por medio del aprovechamiento de los residuos sólidos. En otros países de Latinoamérica ya están adelantados en el aprovechamiento de los residuos sólidos como biocombustibles, por ejemplo: Brasil, Argentina, Chile, Colombia y México como los principales en el tema, ahora en la comunidad Europea las briquetas y pellets son una necesidad y un estilo de vida desarrollado en esta materia, debido a que las briquetas las utilizan como un recurso básico para la calefacción de hogares y en la industria en la combustión de calderas y generación de energía eléctrica.

4.3. Proceso industrial de producción de briquetas

Para la producción masiva o industrial, existen en el mercado europeo o Sudamérica empresas que fabrican equipo industrial para la producción de briquetas, los cuales permiten un proceso continuo donde se estandariza la capacidad de producción, tal es el caso del siguiente diagrama, donde se describe cada paso de producción donde interviene el equipo industrial que cumple cada proceso para la obtención de briquetas.

Figura 25. **Maquinaria para producción industrial**



Fuente: Distribuidora internacional de maquinaria.

Capacidad	300 – 350 kg/h
Diámetro de briquetas	70mm, 80mm,90mm
Potencia	18.5 kw
Peso	800 kg
Dimensiones	1700x800x1600 mm

Fuente: Distribuidora internacional de maquinaria.

Figura 26. **Briquetadora industrial de pistón**

Marca: POR

Código: MT 13/19

Descripción:

Briquetadora POR Bricc Modelo A6

kW 5,5 - Hp 7,5 V.380 Hz 50

Produccion 35/70 kg/h Diametro Briqueto 60 mm



Fuente: Máquinas Bardi Italia, 2018.

Características de la máquina industrial Bardi

Motor CV 12,5 - 9,5 KW

Diámetro briquetas 70 mm

Max briquetas longitud de 80 mm con empujador de briquetas cortas

Max briquetas longitud de 300 mm con empujador de briquetas largas

Nr. 12 ciclos / min

Nr. 03 cilindros hidráulicos

Producción 1623 m³ / h (+/- 10%) con una humedad máx 17% (este valor es indicativa y puede cambiar sobre la base de la estructura física de los materiales).

Altura 1700 mm.

Frente a 1300 mm.

Profundidad 2.095 mm.

Peso kg 1250

El tanque de petróleo capacidad de 220 lt.

Tambor de diámetro de alimentación 1200 mm.

La bomba 75 l / min.

Completa de la predisposición para la conexión del depósito de aceite del sistema de refrigeración y el manguito.

Puerta de inspección con el espectador.

Puesta en marcha automática del sensor de nivel / parada

Predisposición en la placa del panel de conexión del motor externo de la alimentación.

Sistema de doble alimentación del cajón (para materiales ligeros).

El dispositivo manual para liberar los briquetts a causa de la humedad del material o de los agentes atmosféricos.

Dispositivo para comprobar el corrimiento mecánico.

Filtro de aceite, manómetros de control de presión.

Estas máquinas briquetadoras se han enviado e instalado en Europa - Europa del este: Albania, Serbia, Antigua República Yugoslava de Macedonia, Croacia, Bosnia, Montenegro, Ucrania, Lituania, Letonia -Rusia -Siberia - en África Marruecos, Egipto, Costa de Marfil, Togo, Camerún, Congo, Gabón, Tanzania, Uganda, Sierra Leona, Sudáfrica - América Latina: Ecuador, Perú, Bolivia –Estados Unidos – en Asia: Vietnam.

Como se puede observar, Centroamérica no figura entre los destinos de este tipo de maquinaria, por lo cual se identifica un potencial no solo como mercado sino como tecnología para disminuir la deforestación en Guatemala.

Figura 27. **Máquina briquetadora industrial de extrusión**



Fuente: Zhengzhou Leabon Machinery Co. Ltd., 2018.

Características de Briquetadora marca LEABON

Información básica

No. de modelo: ZBJ

Formas de trabajo: Tornillo

Técnica de procesamiento: Hot press

Estructura : Pilar

Forma prensado: Moldeado de prensa

Presión en superficie de la platina : Alta presión

Capa prensado: De una sola capa

Modo de trabajo: Continuo

Modo de control: Artificial

Grado automático: Semiautomático

Certificación: CE , ISO , SGS

Información adicional

Marca: Leabon

Embalaje: Wood Box for Sawdust Charcoal Briquette Machine

Estándar: set

Origen: Shangdong

Código del HS: 8479300000

Capacidad de producción: 260-280 Kg/H

Fuente: (Zhengzhou Leabon Machinery Co. Ltd., 2018).

4.4. Poder calorífico

La actividad agrícola y forestal, aporta biomasa residual que tiene un poder calorífico dependiendo del origen de la biomasa; actualmente no se ha desarrollado el aprovechamiento de estos recursos energéticos aunque ya se cuenta con estudios e investigaciones que aportan características físicas y químicas de diversos residuos de biomasa, a continuación se realiza un análisis del comportamiento del poder calorífico y poder determinar cuáles son los recomendables de acuerdo a la disponibilidad en el municipio o a nivel nacional.

Un poder calorífico y eficiencia en encendido y durabilidad satisfactorio, de los tres materiales usados, el olote muestra la menor capacidad calorífica, sin embargo es competente para ser parte de esta briqueta. Tomando en cuenta el poder calorífico de cada residuo, se determina un poder calorífico promedio de 4,000kcal/kg, así lo demuestra también el Instituto Nacional de energías Renovables CENER del gobierno de Navarra España, para esta briqueta como

producto final, aprovechando así el uso y manejo eficiente de estos residuos.

4.5. Beneficios ambientales

Durante las pruebas de fuego, por el método de la observación se determinó que la briqueta genera menos humo que la leña y su olor es menos tóxico, la utilización de briquetas de biomasa vegetal contribuyen a la reducción del consumo de leña, por lo tanto, se reduce la deforestación, fortaleciendo así las reservas forestales que tienen una función vital para un medio ambiente libre de GEI. De acuerdo a lo anterior, se puede determinar que las briquetas son un producto 100 % ecológico, que contribuye con el medio ambiente y se tiene la ventaja de que es un producto renovable por los ciclos de producción agrícola ayudando a mantener aire, suelos y fuentes de agua limpios.

CONCLUSIONES

1. Los elementos que componen cada residuo seleccionado para elaborar la briqueta, tienen en común una alta capacidad de combustión, el aserrín contiene 50.65 % carbono, 6.03% hidrógeno, 0.14 % nitrógeno, 43.18 % oxígeno. Olote contiene: 45% celulosa, 35 % hemicelulosa, 15 % lignina. Cascarilla de café contiene: 93 % de materia seca, 0.5 % cenizas, 0.39 nitrógeno. La fusión de estos elementos en el mezclado, dan como resultado una briqueta con alto contenido de carbono y celulosa, dos elementos altamente combustibles, así como resistencia, rigidez, dureza en el manejo de la misma.
2. Con esta tecnología, la briqueta alcanza una densidad de 509 kg/m³, la cual está dentro de las condiciones aceptables para una combustión eficiente, tal como se observa en las pruebas en la ilustración 12. Así también se determina el poder calorífico de la briqueta por su composición, 60 % de aserrín; 25 % de cascarilla de café y 10 % de olote, donde cada uno aporta su poder calorífico, alcanzando un nivel promedio de calor de 4,000 kcal/kg.
3. Se alcanza el punto de ebullición de un litro de agua, a un tiempo de 6 minutos, utilizando 0.5 kilogramos de briquetas, la cual tiene una duración de fuego efectivo de 35 minutos y una aportación de calor de 80 minutos tal como lo muestra la figura 12.
4. Con la cantidad de kilogramos disponibles, se obtienen 984.066 m³ de briqueta, con lo cual se preservan 8.78 hectáreas de bosque, dejando un déficit por cubrir de 51.22 hectáreas, en las cuales se pueden desarrollar

otros proyectos con las instituciones públicas y privadas para detener ese avance crítico de deforestación que impacta negativamente en la población.

RECOMENDACIONES

1. Poner a disposición de toda persona, institución pública o privada, esta investigación como una tecnología de recursos energéticos renovables con el fin de desarrollar proyectos sostenibles con el aprovechamiento de residuos de biomasa, contribuyendo en la preservación de los recursos naturales y medio ambiente.
2. Hacer partícipe a la municipalidad de San Juan Sacatepéquez en la implementación de proyectos energéticos que mejoren la salud y nivel socioeconómico de sus habitantes.
3. Invitar a organizaciones no gubernamentales relacionadas al sector de energía renovable y ambiente, a realizar actividades para concientizar sobre el impacto negativo de los residuos de biomasa generados por la actividad forestal y agrícola, resaltando su potencial energético y su contribución en la salud de la población con un eficiente manejo.
4. El sector educativo con carácter de urgencia, debe promover charlas informativas y talleres que impulsen a las nuevas generaciones a asumir una actitud responsable con los recursos naturales.
5. Fortalecer la comisión municipal de medio ambiente, para identificar alternativas energéticas y ambientales, enfocadas a desarrollar bosques energéticos y disminuir la tala ilegal que actualmente está afectando significativamente a la comunidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adam Dolezal, A. M. (2013). *La ruta hacia el futuro para la energía renovable en centroamérica*. Costa Rica: Worldwatch.

Ana Isabel de Lucas Herguedas, C. d. (2012). *Biomasa, combustibles y sostenibilidad*. Palencia: Graficolor-Palencia S.L. 2012.

Arpi, J. C. (2010). *Diseño de una máquina peletizadora maderera*. Ecuador.

Äviles, J. R. (2011). *Estudio técnico para la obtención de briquetas de fácil encendido a partir de carbón de la cascarilla de palma africana*. Ecuador.

betancourt, P. y. (2005). 1.1 Generalidades de la cadena agroproductivas del café. *Cascarilla de café*, 56.

Biblioteca de la UNS Perú. (s.f.). *Tabla del poder calorífico*. Perú.

Bioenergía, seguridad alimentaria y evaluación rápida. (2014). *Opciones de uso final de energía (Briquetas)*. FAO.

Carvajal, R. (s.f.). *Técnicas de análisis de la información*.

Castellanos, D. A. (2009). *Propuesta de diseño de un proceso para la generación de energía eléctrica a partir de los residuos de producción de café*. Bogotá.

Castillo, C. A. (2003). *Valoración de la madera en pie*. Canadá.

Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario . (2012). *Biomasa, Combustibles y Sostenibilidad*. Madrid: ITAGRA.CT.

Construpedia. (s.f.). *Procesos de la Biomasa*. *Construpedia*.

Cuarto Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano . (2013). *Tecnologías disponibles para la generación de energía a partir de biomasa*. Argentina.

Díez, Y. F. (2010). *Tratamientos térmicos asistidos con microondas en procesos de valorización energética*.

Distribuidora internacional de Maquinaria. (2017). *Equipos para producción de briquetas*. Guatemala.

ECOFYS, OMA. (2011). *Informe de la energía renovable 100% de energía renovable para el año 2050*. Guatemala.

FAO . (2012). *El Estado de los bosques del mundo 2012*. Roma.

Fonseca Cuenca Edison, T. t. (2012). *Desarrollo de un proceso tecnológico para la obtención de briquetas de aserrín de madera y cascarilla de arroz y pruebas de producción de gas pobre*. Ecuador.

Fundación Entorno. (2012). *Consejo empresarial Español para un desarrollo sostenible*. España.

IARNA. (2008-2009). *Perfil ambiental de Guatemala* . Guatemala.

- IARNA. (2009). *Descripción de la actividad agrícola en San Juan Sacatepequez*. Guatemala: IARNA.
- IARNA. (2009). *La tala no controlada en Guatemala, los casos de Tecpán y San Juan Sacatepequez*. Guatemala: IARNA - URL.
- IARNA. (2009). *Mercado de la leña: Caso de Tecpán y San Juan Sacatepequez*. Guatemala: IARNA.
- IARNA/URL. (2012). *Oferta y Demanda de Leña en Guatemala*. Guatemala.
- IICA, Matagalpa (Nicaragua). PROMECAFE. (1992). *Seminario Taller El Tratamiento Anaeróbico de los Resíduos del Café: Una Alternativa para la Disminución del Impacto Ambiental. Matagalpa (Nicaragua)*. [1992]. Tegucigalpa: Matagalpa (Nicaragua). 1992. 57 p.
- INAB. (2010). *Plan institucional para la prevención y reducción de la tala ilegal en Guatemala*. Guatemala: INAB.
- INAB. (2013). *Plan de acción institucional para la prevención y reducción de la tala ilegal en Guatemala*. Guatemala.
- INAB. (2015). *Estrategia Nacional de producción sostenible y uso eficiente de la leña 2013-2024*. Guatemala: Revista INAB Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística. (2004). *IV Censo Nacional Agropecuario*. Guatemala.

Instituto Nacional de Bosques INAB. (s.f.). *Centro de Información forestal Guatemala*. Guatemala.

Inversiones, C. i. (2015). *Huella de carbono*. Washington.

IPCC. (2011). *Fuentes de energía Renovables y mitigación de cambio climático*.

Jhon Alexander Córdobaac, E. S. (2013). *CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN QUÍMICA DEL OLOTE*:. Revista Latinoamericana de Química.

Jhon Alexander Córdobaac, E. S. (2013). Caracterización y valoración química del olote: degradación hidrotérmica bajo condiciones subcríticas. *Revista Latinoamericana de química*, Vol. 41.

Katun. (2013). *Plan Nacional de desarrollo de Guatemala*. Guatemala.

Katún 2032. (2013). *Plan NAcional de desarrollo de Guatemala*. Guatemala: CONADUR.

Larrañaga, M. (2012). *Oferta y demanda de leña en Guatemala*. Guatemala.

Maquinas Bardi Italia. (2018). *Máquinas Bardi*.

Minas, M. d. (2013). *Plan estratégico Nacional para el uso sostenible de la leña*. Guatemala: Nacional.

Ministerio de Energía y Minas. (2007). *Balances Energéticos*. Guatemala: MEM.

- Ministerio de Energía y Minas. (2013). *Plan estratégico Nacional para el uso sostenible de la leña*. Guatemala.
- Ortiz, I. M. (2016). *Consumo de leña en Guatemala*. Guatemala.
- Pacheco., J. F. (2015). *Caracterización energética del densificado de aserrín como biocombustible*. Guatemala.
- Perez, E. (2008). *Biomasa*.
- PNUD. (2006). *Informe Nacional de Desarrollo Humano*. Guatemala: PNUD.
- PNUMA. (2011). *Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza*. Guatemala.
- Ramos, L. a. (2010). *Fabricación y evaluación de eficiencia y emisiones de briquetas a base de residuos agrícolas como alternativa energética al uso de leña*. Honduras.
- Revista Latinoamericana de Química. (2013). *Caracterización y valorización Química del olote*. Naucalpan de Juárez.
- Salas Huamani, J. R. (2011). *Técnicas para el procesamiento de la información*.
- Sandoval, C. (2009). *Caracterización de la cadena productiva de la madera en los municipios de Tecpán Guatemala, Chimaltenango y San Juan Sacatepéquez, Guatemala.--*. Guatemala: IARNA.

Satrio, D. J. (2012). *Potencial energético de la cascarilla de café*. Nicaragua: Universidad de Villanova.

SEGEPLAN. (2010). *TERCER INFORME DE AVANCES*. Guatemala: Segeplan.

SIFGUA. (s.f.). *Sistema Nacional de Información Forestal de Guatemala*. Guatemala.

Tecnología Química. (2016). *Caracteización del Aserrín*. Cuba: RTQ vol.36 No.3.

Tienda de Biomasa. (s.f.). *Especialistas en biomasa*.

TRANSBIOMA. (2012). *Biomasa, Biocombustibles y sostenibilidad*. Palencia S.L.: Centro Tecnológico, Agrario y Alimentario, ITAGRA.CT.

UVG, INAB, CONAP, URL. (2010). *Mapa de la cobertura forestal de Guatemala*. Guatemala.

Veblen, T. T. (s.f.). *Las coníferas de Guatemala*. Guatemala.

Zhengzhou Leabon Machinery Co. Ltd. (2018). Room 116, Floor 22, No. 4 Building, Zhidi Plaza, No. 1188 Zhongzhou Avenue, Jinshui District, Zhengzhou, Henan, China.

ANEXOS

Figura 28. Mapa de San Juan Sacatepéquez



Fuente: Sanjuansac.com

SAN JUAN SACATEPÉQUEZ PRODUCE CAFÉ

Durante la 4ª. Asamblea de Cooperativa Integral Agrícola Cafetaleros de San Juan CIACAFE, se presentó el plan operativo 2017-2018 que se define como todo un reto el seguir promoviendo la caficultura de nuestro municipio.

CIACAFE trabaja arduamente para proyectar a San Juan Sacatepéquez como la tierra del café.

CIACAFE tiene su sede en Asunción Chivoc, nace en el 2013 con el objetivo de promover el cultivo del café para su exportación en San Antonio Las Trojes, El Pilar, Comunidad de Ruiz, Montufar y Comunidad de Zet, donde las parcelas se encontraban abandonadas.

El trabajo se inició con un diagnóstico línea base, porque en estas comunidades no existía un manejo agronómico, cosechando de 4 a 6 quintales de café maduro por cuerda, ofreciendo talleres de capacitación para mejorar el café en el campo, logrando en dos años un 200 % de producción, en la última cosecha en una cuerda de terreno se cosechó 25 a 35 quintales de café maduro.

Actualmente, CIACAFE cuenta con 54 asociados, beneficiando a 125 familias sanjuaneras, comercializando distintos tipos de café, el cual se clasifica por el color y la cantidad de azúcar, el cual asegura la calidad del café del campo a la casa.

Negro café preparación tipo japonés Q80.00

Dorado preparación tipo europeo Q 60.00

Rojo preparación americana Q40.00

Verde mercado local Q30.00

Transparente comercial Q18.00

El destino del café es Estados Unidos, se tiene un comprador en San Francisco California, a través de una alianza con la Finca Bella Vista, ya que CIACAFE por el momento no cuenta con su licencia de exportación, lo cual se encuentra en proceso.

Figura 29. **Café empacado de San Juan Sacatepéquez**



Fuente: CIACAFE R.L.