

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL CON ÉNFASIS EN SILVICULTURA Y MANEJO DE BOSQUES

**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LEÑA DE ESPECIES UTILIZADAS COMO COMBUSTIBLE
EN EL SECADO DE CARDAMOMO EN LA TINTA, ALTA VERAPAZ**

TESIS DE GRADO

ARIEL ANTONIO CAHUEC FERNANDEZ

CARNET 26102-11

**SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ, JULIO DE 2018
CAMPUS "SAN PEDRO CLAVER, S . J." DE LA VERAPAZ**

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL CON ÉNFASIS EN SILVICULTURA Y MANEJO DE BOSQUES

**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LEÑA DE ESPECIES UTILIZADAS COMO COMBUSTIBLE
EN EL SECADO DE CARDAMOMO EN LA TINTA, ALTA VERAPAZ
TESIS DE GRADO**

**TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

**POR
ARIEL ANTONIO CAHUEC FERNANDEZ**

**PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL CON ÉNFASIS EN SILVICULTURA Y MANEJO DE BOSQUES EN EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO**

**SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ, JULIO DE 2018
CAMPUS "SAN PEDRO CLAVER, S . J." DE LA VERAPAZ**

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA

DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
MGTR. ROBERTO WALDEMAR MOYA FERNÁNDEZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
MGTR. CARLOS ERNESTO ARCHILA CARDONA

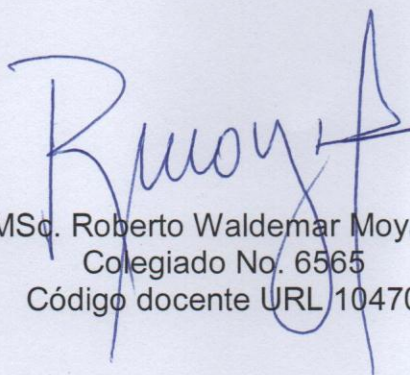
San Juan Chamelco, Alta Verapaz
07 de julio de 2018

Honorables miembros de la
Comisión de Trabajos de Graduación
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Universidad Rafael Landívar
Guatemala, Ciudad.

Respetables miembros de la Comisión:

Por este medio hago constar que he procedido a revisar el Informe de trabajo de graduación del estudiante **Ariel Antonio Cahuec Fernández**, quien se identifica con carné 26102-11 titulado: **“Determinación del volumen de leña de especies utilizadas como combustibles en el secado de cardamomo en la Tinta, Alta Verapaz”**, el cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad previo a su autorización para impresión.

Atentamente:



Ing. Agr. MSc. Roberto Waldemar Moya Fernández
Colegiado No. 6565
Código docente URL 10470



**Universidad
Rafael Landívar**
Tradición Jesuita en Guatemala

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06964-2018**

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante ARIEL ANTONIO CAHUEC FERNANDEZ, Carnet 26102-11 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL CON ÉNFASIS EN SILVICULTURA Y MANEJO DE BOSQUES, del Campus de La Verapaz, que consta en el Acta No. 06113-2018 de fecha 4 de julio de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LEÑA DE ESPECIES UTILIZADAS COMO
COMBUSTIBLE EN EL SECADO DE CARDAMOMO EN LA TINTA, ALTA VERAPAZ**

Previo a conferírsele el título de INGENIERO FORESTAL CON ÉNFASIS EN SILVICULTURA Y MANEJO DE BOSQUES en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 12 días del mes de julio del año 2018.



**MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar**

AGRADECIMIENTOS

A:

DIOS: Por darme la sabiduría y la paciencia para culminar esta etapa de mi vida.

Programa de Becas KFW Por apoyarme con la beca de estudios a través del departamento de asistencia económica (DAEF) y ser parte del proceso de mi formación Profesional, con quienes estoy muy agradecido.

Mi Asesor: Ingeniero Roberto Moya Fernández por sus correcciones y aportes técnicos en esta investigación.

Mi Revisor Técnico: Ingeniero Carlos Archila por su revisión, correcciones y aportes técnicos en esta investigación.

Universidad Rafael Landívar: Por ser parte de mi formación profesional durante los años de estudio.

Inversiones corporativas
Saquepec S.A.

Por el apoyo que me brindaron en sus instalaciones y poder llevar a cabo esta investigación.

Mi Amigo: Edwin Alexander paredes, por el apoyo y motivación que me ha brindado.

DEDICATORIA

A:

DIOS: Por sus infinitas bendiciones y estar siempre en cada proceso de mi vida, por encaminarme en cada paso y ser parte fundamental en el proceso de mi formación personal y profesional.

Mis Padres: Pedro Antonio Cahuec (+) y Carmen Ninnet Fernández a quienes agradezco el apoyo y la educación que me han brindado durante toda la etapa de mi vida.

Mis Hermanos: Por brindarme su apoyo en todo momento, por las alegrías y tristezas que hemos pasado juntos, a quienes quiero mucho.

Mi Tío: Hermelindo Zoel Cap Cahuec y familia por su apoyo, motivación y comprensión hacia mi persona.

A mi familia: Por su apoyo y comprensión en todo momento de mi vida.

Mi Esposa: Aracely Caal, por su comprensión y apoyo para poder culminar esta etapa importante de mi vida.

Mi Hija: Sofía por ser el motivo de mi superación que me impulsa cada día a seguir adelante a quien amo mucho

INDICE

RESUMEN.....	i
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 TERMINOLOGÍA.....	2
2.1.1 Dendroenergía.....	2
2.1.2 Combustible.....	2
2.1.3 Bioenergía	2
2.1.4 Biomasa.....	3
2.1.5 Biomasa de Eucalipto	3
2.2 SITUACIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES Y PLANTACIONES CON FINES ENERGÉTICOS.....	3
2.2.1 Consumo de combustible a nivel mundial.....	4
2.2.2 Consumo de leña en América Latina y el Caribe	4
2.2.3 Consumo de leña en Guatemala	5
2.2.4 Plantaciones con fines energéticos en Guatemala	6
2.3 PLANTACIONES ENERGÉTICAS.....	7
2.3.1 Combustibles maderables	7
2.3.2 Leña como combustible	7
2.4 CUALIDADES DE LA DENDROENERGÍA	8
2.4.1 Humedad de la leña.....	8
2.4.2 Gasificación	8
2.4.3 Combustión.....	8
2.4.4 Combustión de biomasa	9
2.4.5 Poder calorífico	9
2.5 EL CULTIVO DE CARDAMOMO	11
2.6 PRODUCCIÓN DE CARDAMOMO A NIVEL NACIONAL	12
2.7 SECADO DE CARDAMOMO	12
2.7.1 Secadora tipo circular	12
2.7.2 Proceso de secado de cardamomo.	13
2.8 GENERALIDADES DE LAS ESPECIES MADERABLES UTILIZADAS.....	13
2.9 ANTECEDENTES	19
2.9.1 Deforestación a nivel nacional	19
2.9.2 Consumo de leña a nivel industrial en Guatemala.....	20
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	21
3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
3.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	22
4. OBJETIVOS	23

4.1	OBJETIVO GENERAL	23
4.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	23
5.	HIPÓTESIS.....	24
5.1	HIPÓTESIS NULA (H ₀)	24
5.2	HIPÓTESIS ALTERNA (H _a)	24
6.	METODOLOGÍA.....	25
6.1	LOCALIZACIÓN	25
6.1.1	Vías de acceso	26
6.1.2	Clima.....	26
6.1.3	Zona de vida	26
6.2	MATERIAL EXPERIMENTAL	26
6.3	FACTORES ESTUDIADOS	27
6.4	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	27
6.5	DISEÑO EXPERIMENTAL	27
6.6	MODELO ESTADÍSTICO	28
6.7	UNIDAD EXPERIMENTAL	29
6.8	CROQUIS DE CAMPO	29
6.9	MATERIALES.....	30
6.10	MANEJO DEL EXPERIMENTO	30
6.10.1	Área e instalaciones del experimento	30
6.10.2	Abastecimiento, troceado y secado de la leña	30
6.10.3	Medición de metro estéreo de leña.....	31
6.11	DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN POR ESPECIE	32
6.12	ANÁLISIS ESTADÍSTICO A TRAVÉS DEL MÉTODO DE MEDIAS PAREADAS.....	33
6.13	ESTADÍSTICO DE MEDIAS PAREADAS.	33
6.14	DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO SUPERIOR DE LAS ESPECIES DE LEÑA EVALUADAS PARA EL SECADO DE CARDAMOMO	33
6.14.1	Recolección de muestras.....	33
6.14.2	Identificación de muestras	34
6.14.3	Variables a obtener en el laboratorio	34
6.15	RENTABILIDAD DEL USO DE LA LEÑA EN EL SECADO DE CARDAMOMO	34
6.15.1	Recopilación de información económica.....	34
6.15.2	Calculo de rentabilidad	34
6.16	VARIABLES A ESTUDIAR	35
6.17	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	35
6.17.1	Análisis Estadístico	35
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
7.1	RENDIMIENTO DE LEÑA EN VOLUMEN (M ³).....	36
7.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO A TRAVÉS DEL MÉTODO DE MEDIAS PAREADAS.....	37

7.3	ANÁLISIS INTEGRADOR DE LAS TRES ESPECIES EVALUADAS COMO LEÑA EN EL PROCESO DE SECADO DE CARDAMOMO	40
7.4	DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO SUPERIOR Y PORCENTAJE HUMEDAD DE LEÑA UTILIZADA:	40
7.4.1	Poder calorífico	40
7.4.2	Contenido de humedad.....	41
7.5	RENTABILIDAD DEL USO DE LA LEÑA EN EL SECADO DE CARDAMOMO	43
8.	CONCLUSIONES	48
9.	RECOMENDACIONES.....	49
10.	BIBLIOGRAFÍA	50
11.	ANEXOS.....	55
11.1	PRODUCCIÓN DE LEÑA EN ALAC Y TASA DE CRECIMIENTO.....	55
11.2	PRODUCCIÓN DE CARDAMOMO EN GUATEMALA CORRESPONDIENTE AL PERIODO DE 1996 AL 2006	56
11.3	BOLETA DE INFORMACIÓN DE CAMPO	57
11.4	BOLETA DE INFORMACIÓN DE COSTOS.....	58
11.5	RESULTADOS DE LABORATORIO DEL PODER CALORIFICO Y PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LAS ESPECIES DE LEÑA EVALUADAS	59
11.5.1	resultados del análisis de laboratorio para la especie <i>Gliricidia sepium</i>	59
11.5.2	Resultados del análisis de laboratorio para la especie <i>Eucalyptus</i> sp.....	60
11.5.3	Resultados del análisis de laboratorio para la especie <i>Inga</i> sp.	61

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Procedencia de la leña en Guatemala	6
Cuadro 2. Poder Calorífico de especies maderables.	10
Cuadro 3, descripción de los tratamientos utilizados en el proceso de secado de cardamomo.....	27
Cuadro 4. Croquis de Campo de la distribución de los tratamientos utilizados en el secado de cardamomo	29
Cuadro 5. Material y equipo utilizado durante el proceso de secado de cardamomo....	30
Cuadro 6. Factor de conversión para cada especie de leña evaluada durante el secado de cardamomo.....	32
Cuadro 7. Emparejamiento entre especies de leña evaluadas.....	33
Cuadro 8. Rendimiento en volumen en m ³ para las tres especies de leña evaluadas en el proceso de secado de cardamomo.....	36
Cuadro 9. Prueba pareada de T, para el rendimiento de leña en m ³ , en el proceso de secado de cardamomo de las especies <i>Gliricidia sepium</i> y <i>Eucalyptus</i> sp.	37
Cuadro 10. Prueba pareada de T, para el rendimiento de leña en m ³ , en el secado de cardamomo de las especies <i>Gliricidia sepium</i> e <i>Inga</i> sp	38
Cuadro 11. Prueba pareada de T, para el rendimiento de leña en m ³ , en el proceso de secado de cardamomo de las especies <i>Eucalyptus</i> sp. e <i>Inga</i> sp.....	38
Cuadro 12. Análisis financiero para el secado de cardamomo con leña de <i>Eucalyptus</i> sp.....	44
Cuadro 13. Análisis financiero para el secado de cardamomo con leña de <i>Gliricidia sepium</i>	45
Cuadro 14. Análisis financiero para el secado de cardamomo con leña de <i>Inga</i> sp.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del municipio de Santa Catalina la Tinta, Alta Verapaz ...	25
Figura 2. Prueba de medias del rendimiento de las tres especies de leña utilizadas en el proceso de secado de cardamomo.	39
Figura 3. Poder calorífico superior en Kcal/kg por cada especie evaluadas como leña en el secado de cardamomo.	40
Figura 4. Porcentaje de humedad de las especies de leña evaluadas en el proceso de secado de cardamomo.	42

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LEÑA DE ESPECIES UTILIZADAS COMO COMBUSTIBLE EN EL SECADO DE CARDAMOMO EN LA TINTA, ALTA VERAPAZ

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue determinar los volúmenes en metros cúbicos de tres especies de leña que se utilizan para el proceso de secado de cardamomo (*Elettaria cardamomum*). Las especies evaluadas fueron *Eucalyptus* sp. *Gliricidia sepium* e *Inga* sp. Las variables analizadas fueron volumen, poder calorífico humedad y rentabilidad, la información fue analizada mediante pruebas de hipótesis de dos medias poblacionales dependientes, los datos obtenidos en las mediciones se tabularon y se procesaron con la ayuda del software Infostat®. Para estimar el poder calorífico se realizaron pruebas en el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. Además, se obtuvo el porcentaje de humedad por cada una de las especies evaluadas. El mejor rendimiento en volumen en metros cúbicos lo presentó la especie de *Eucalyptus* sp. con un promedio de 1.9608 m³. Ninguna de las especies presentó una diferencia estadística significativa con respecto al volumen. En relación al poder calorífico la especie de *Inga* sp. obtuvo el mejor resultado con 4,265 Kcal/kg de madera, los niveles más bajos en porcentaje de humedad se encontraron en la especie de *Eucalyptus* sp. con un 8.83 %, obteniendo los niveles más altos en la especie *Gliricidia sepium* con 14.64%. En el aspecto económico, Los costos para cada una de las especies utilizadas en el secado de cardamomo son similares, la especie con mejor rentabilidad fue *Eucalyptus* sp. con una utilidad neta de Q. 3,587.68 y una rentabilidad del 19%, en comparación a las otras dos especies evaluadas.

1. INTRODUCCION

Guatemala es uno de los países productores de cardamomo a nivel mundial. Según datos del Ministerio de Agricultura, la producción de cardamomo ha aumentado desde el año 2000, a una tasa del 4%. Según este informe el 68% de la producción se concentra en el departamento de Alta Verapaz, y el 14% en el departamento de Quiché. (MAGA, 2007).

A través de un estudio realizado por INAB, IARNA-URL, FAO/GFP (2012). La cantidad de cardamomo producido en Alta Verapaz fue de 450,000 quintales al año, (20,454,545.45 kg.) para la transformación de este producto de cereza a pergamino es necesario la utilización de energía, principalmente la proveniente de leña a través de secadoras de cardamomo.

Para la transformación del cardamomo de cereza a pergamino las industrias utilizan combustibles maderables, esencialmente leña. La mayoría de las industrias no cuentan con registros de la cantidad de leña necesaria para la transformación de una hornada de cardamomo en cereza a pergamino, es de importancia tener registros de la cantidad de leña necesaria para el proceso de secado, para poder tener una estimación de la cantidad de leña necesaria para este proceso.

Es de esta manera que el presente trabajo de tesis presenta los resultados obtenidos en la determinación de los volúmenes en metros cúbicos de las especies de *Eucalyptus* sp. *Gliricidia sepium* e *Inga* sp. que se utilizan como leña para el proceso de secado de cardamomo (*Elettaria cardamomum*) en La Tinta, Alta Verapaz.

Se realizó el análisis estadístico a través de dos medias poblacionales dependientes, para determinar las diferencias estadísticas entre cada una de las medias obtenidas por especie. se realizó una fase de laboratorio para determinar el poder calorífico superior y humedad de cada una de las especies. Se estableció la rentabilidad del uso de cada especie en el proceso de secado y se determinó la mejor especie para su utilización como combustible dendroenergético.

2. MARCO TEORICO

2.1 TERMINOLOGÍA

2.1.1 Dendroenergía

La Dendroenergía como lo firma Pañito y Smith (2008), se refiere al involucramiento de una gran diversidad de factores y agentes, todos ellos influyentes ante cualquier consideración que se haga de este tipo de energía. Por esta razón es hoy una exigencia que trata el tema bajo un enfoque sistémico donde se tenga en cuenta las dinámicas que existen en su interior y con el medio que lo rodea, para así alcanzar su mayor potencial como posible solución energética técnica, económica, social y ambientalmente viable para ciertas regiones.

La dendroenergía es a menudo la única forma de energía disponible en las zonas rurales de los países menos desarrollados, y reviste especial importancia para la población pobre (FAO, 2014). También se emplea cada vez más en los países desarrollados a fin de reducir la dependencia de los combustibles fósiles. A nivel mundial, el combustible de madera genera el seis por ciento del suministro total de energía primaria.

2.1.2 Combustible

El combustible es todo aquel material capaz de liberar energía en forma de calor, cuando reacciona con el oxígeno, habitualmente el oxígeno contenido en el aire, transformando su estructura química. (Domínguez, 2013).

2.1.3 Bioenergía

Según FAO (2004), se entiende por bioenergía la energía proveniente de los biocombustibles obtenidos directa o indirectamente de la biomasa. Otra definición se denomina con el término genérico de "biocombustibles" a los productos intermedios que se obtienen en las cadenas energéticas de la biomasa y que se obtienen de las materias primas que componen la biomasa mediante su tratamiento por procesos físicos, químicos y/o biológicos. Dependiendo de su naturaleza cabe distinguir entre biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos. Los biocombustibles sólidos y gaseosos se emplean por lo general en la producción de calor y electricidad, mientras que los líquidos encuentran su principal aplicación como combustibles en el sector transporte. (Carrasco, 2007).

2.1.4 Biomasa

Biomasa es definida por FAO (2004), como el material de origen biológico excluyendo cualquier material atrapado en formaciones geológicas y fosilizado; abarca la materia vegetal creada por fotosíntesis y sus derivados, tales como residuos forestales y agrícolas, residuos animales, y la materia orgánica contenida en los residuos sólidos industriales, domésticos y de origen municipal.

La biomasa que se denomina genéricamente "leña" o "madera" fue la primera y única fuente energética utilizada por el hombre hasta el advenimiento del carbón y fue el principal recurso energético hasta principios de la era industrial, a comienzos del siglo XIX. Aún en nuestros días la biomasa sigue constituyendo una de las principales fuentes energéticas de la humanidad (Carrasco, 2007).

2.1.5 Biomasa de Eucalipto

Existen fuentes de energía renovable como la biomadera, que provee un alto porcentaje de la energía consumida en el mundo, teniendo un potencial para suplir volúmenes de energía de combustión directa a gran escala.

El árbol de eucalipto, es una especie forestal que posee un alto valor calorífico; siendo este una opción factible en poder desarrollar proyectos de cogeneración eléctrica y programas de conformación de bosques de eucalipto para uso energético en la industria (De León, 2010).

2.2 Situación de los biocombustibles y plantaciones con fines energéticos

La producción de biocombustibles y la producción de alimentos están estrechamente unidas. El planeta tiene 13.200 millones de hectáreas de tierra firme, de las cuales un 11% corresponden a tierras agrícolas, un 26% a praderas, un 32% a bosques y plantaciones forestales, un 9% a áreas urbanas y un 21% a otros usos. Mucha de la tierra útil para actividades agrícolas ya está en uso, por lo tanto, la única forma de incrementar la superficie de tierras agrícolas es a costa de praderas o bosques. De hecho, entre 7 y 8 millones de hectáreas de bosques son convertidas en tierras agrícolas cada año en el mundo (FAO, 2002).

Esta situación demuestra la vulnerabilidad de los bosques, los cuales cada año siguen en disminución debido a las actividades agrícolas y a la búsqueda de biocombustibles como la leña, que generalmente son utilizados con fines energéticos.

2.2.1 Consumo de combustible a nivel mundial

A nivel mundial los combustibles maderables son de importancia para el ser humano, en especial como fuente de energía para suplir las necesidades de cocción de alimentos y calefacción entre otros. Como lo afirma Reyes y Neira (2012), los combustibles sólidos renovables, especialmente la biomasa forestal, están siendo utilizados en forma creciente como una forma de reemplazar combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

De acuerdo con la FAO (2008), la producción total de madera en 2000 alcanzó aproximadamente 3900 millones de metros cúbicos, de los cuales 2300 millones se utilizaron como combustible. Esto significa que alrededor del 60% de las extracciones mundiales totales de madera de los bosques y de los árboles fuera del bosque se utilizan con fines energéticos. Dicho de otra manera, la energía es la principal aplicación de la biomasa forestal obtenida de los bosques y de los árboles fuera del bosque.

Debido a esto, los combustibles derivados de la madera han tenido incrementos en los usos a nivel mundial, otro estudio realizado por FAO (2009), confirman este hecho donde la producción mundial de combustibles derivados de la madera alcanzó 1.890 millones de metros cúbicos en 2007, lo que equivale al 53% de la producción mundial de madera. Asia es el principal productor mundial de combustibles derivados de madera con un 42% del volumen, seguido por África (32%) y América (18%) (FAO, 2009).

De hecho, FAO (2010), prevé un incremento en la demanda mundial de biomasa forestal con estos fines, durante las próximas décadas, debido al aumento de la población y al incremento en el precio de los combustibles fósiles.

2.2.2 Consumo de leña en América Latina y el Caribe

De acuerdo con datos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL 2011), alrededor del 35% de la población en América Central carece de acceso a la

electricidad y sigue utilizando leña y otros combustibles tradicionales para fines de calefacción y cocción de alimentos. La mayoría de las viviendas que no tienen acceso a electricidad se encuentran ubicadas en las áreas rurales en donde la inversión en infraestructura eléctrica sería alta, dada la cantidad de habitantes y la dispersión de las viviendas. Más de ocho millones de centroamericanos, representando una cantidad mayor a 1.5 millones de hogares, aún no cuentan con acceso a este servicio (Fenerca, 2003) (anexo 1)

De acuerdo con las estadísticas, en la región se produjeron en 2007, 434.789,18 miles de barriles equivalentes de petróleo (KBEP), para satisfacer las necesidades de la población, con un incremento del 2,36% comparado con la producción de 2006 (OLADE, 2008). El consumo de leña ha aumentado en términos generales, aunque es importante resaltar que para Guatemala la tasa de crecimiento es positiva durante este periodo de estudio.

2.2.3 Consumo de leña en Guatemala

El historial de consumo de leña en Guatemala entre los años 1964 y 2006, indica que el porcentaje de población que utiliza leña ha disminuido, sin embargo, la magnitud del consumo (metros cúbicos utilizados) se incrementa debido al crecimiento poblacional y a la agudización de las condiciones de pobreza en el país.

Actualmente, el 64% de la población depende de la leña como fuente de energía, el 67% de ella se encuentra en el área rural y el 33% en el área urbana. (BANGUAT- URL, IARNA, 2009)

Según cálculos de la cuenta Integrada de Bosques la leña consumida en el país procede en un 49% de la recolección en hogares dentro de bosques naturales, un 44% de la silvicultura, un 4% producto de residuos industriales, un 5% de producción del café y un 1% del sobrante de la construcción de viviendas.

Cuadro 1. Procedencia de la leña en Guatemala

Procedencia	Porcentaje
Recolección en bosques naturales	49%
Silvicultura	44%
Residuos de la industria	4%
Café	2%
Construcción	1%
Total	100%

(IARNA/URL-BANGUAT, 2009. Cuenta Integrada de Bosques.)

2.2.4 Plantaciones con fines energéticos en Guatemala

Con respecto al tema de plantaciones energéticas o plantaciones con fines principalmente de generar combustibles para el abastecimiento especialmente de leña el Instituto Nacional de Bosque, INAB (2015), en la Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso Eficiente de Leña 2013-2024 determina aspectos muy importantes para contrarrestar el déficit de leña presente a nivel del país. De esta manera propone alternativas que a continuación se presentan.

- ✓ Establecer y manejar al menos 48,000 hectáreas de plantaciones y sistemas agroforestales con apoyo de los programas de incentivos forestales, que producirán en forma continua y sostenida, aproximadamente 1.2 millones de metros cúbicos de leña cada año, para abastecer a la población.
- ✓ Promover el uso de tecnologías apropiadas para el uso eficiente de la leña, mediante asistencia técnica y financiera para establecer y supervisar el funcionamiento de 100,000 estufas mejoradas.

Como resultados de las acciones anteriormente planteadas se espera reducir en un 25% el déficit de leña a nivel nacional, focalizando los esfuerzos en 142 municipios que

presentan déficit crítico de oferta de leña beneficiando a 213,400 hogares del país. Con estas alternativas el instituto nacional de Bosques –INAB- pretende participar directamente en la creación de fuentes energéticas para la sustentabilidad de la demanda actual de leña en el país (INAB, 2015).

2.3 Plantaciones energéticas

Estas son grandes plantaciones de árboles o plantas cultivadas con el fin específico de producir energía. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y los diez años. También se utilizan arbustos que pueden ser podados varias veces durante su crecimiento, para extender la capacidad de cosecha de la plantación (De León, 2010).

2.3.1 Combustibles maderables

Según Reyes y Neira (2012), los combustibles derivados de la madera más utilizados en el mundo son: la leña, que corresponde a madera en trozo utilizada normalmente para producir calor, el carbón vegetal, y los desechos forestales. Estos últimos pueden ser obtenidos en el bosque después de una cosecha forestal, en aserraderos o industrias como resultado del procesamiento de la madera, o como madera de desecho de la construcción u otras actividades. Los combustibles derivados de la madera se emplean principalmente en el sector residencial urbano y rural, para calefacción y cocina, aunque también son utilizados frecuentemente en los sectores industrial, público (hospitales, colegios, municipios, y edificios públicos) y comercial (restaurantes, hoteles, etc.).

2.3.2 Leña como combustible

La definición de leña según FAO (2004), es descrita como madera en estado bruto como ramas, ramillas, troncos, astillas, aserrín y pellets que se utiliza en la generación de energía.

En otro concepto Sierra (1998), define la leña como la materia prima que se encuentra en los bosques naturales. Las condiciones para obtenerla son inmediatas y de bajo costo. Es combustible natural. La unidad de manejo es en trozos o leños de aproximadamente

un área de 100 cm² de frente y 0.40 m. de largo cada uno. En el comercio se adquiere en volúmenes de 1 m de frente y 0.40 m. de largo, conocidos como tareas. Las fuentes energéticas más utilizadas por la calidad de combustible que poseen son los bosques de liquidámbar y encino, ocasionalmente, pino.

2.4 Cualidades de la dendroenergía

Para el proceso de la transformación de leña a energía, es necesario tomar en cuenta aspectos importantes como la humedad y el poder calorífico de la leña entre otras cualidades que son de importancia al momento de elegir qué tipo de leña utilizar.

2.4.1 Humedad de la leña

Dependiendo del tipo de la leña y la época de recolección la humedad varía, según un estudio realizado en 2012, De León, revelo que el contenido de humedad de la leña recién cortada varía entre el 40% y el 50%; luego de estar expuesta a la intemperie, en época no lluviosa, la humedad promedio de la leña baja aproximadamente al 25%.

2.4.2 Gasificación

Se denomina gasificación de biomasa a un conjunto de reacciones termoquímicas, que se produce en un ambiente pobre en oxígeno, y que da como resultado la transformación de un sólido en una serie de gases susceptibles de ser utilizados en una caldera, en una turbina o en un motor tras ser debidamente acondicionados. De acuerdo con IDAE (2007), en el proceso de gasificación, la celulosa se transforma en hidrocarburos más ligeros, incluso en monóxido de carbono e hidrógeno (IDAE, 2007).

2.4.3 Combustión

La combustión es definida por Domínguez (2013), como el conjunto de procesos físico-químicos en los que un elemento combustible se combina con otro elemento comburente (O₂ gaseoso), desprendiendo luz, calor y productos químicos resultantes de la reacción (oxidación).

2.4.4 Combustión de biomasa

La combustión es un proceso por el que la biomasa directamente o sus biocombustibles derivados son oxidados hasta dióxido de carbono (CO_2) y agua. La ecuación global de la reacción de combustión es la inversa de la de fotosíntesis. En general, el término “combustión de biomasa” suele hacer referencia a la combustión directa de la biomasa o de los biocombustibles sólidos.

Según Carrasco (2007), La combustión de la biomasa transcurre con liberación de energía en forma de calor y los productos principales resultantes, como se ha mencionado, son el dióxido de carbono, agua (en forma de vapor a la salida de equipo de combustión) y las sales minerales contenidas en la biomasa empleada como combustible, además de relativamente pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno y de azufre, así como de monóxido de carbono, partículas de carbono y otros productos orgánicos (hidrocarburos) resultantes de la combustión incompleta de la biomasa, denominados genéricamente “inquemados”.

Las sales minerales junto con otros inquemados en muy pequeñas cantidades constituyen las cenizas del proceso que, bajo determinadas condiciones, pueden ser, en general, restituidas al suelo como fertilizantes. El resto de los productos secundarios mencionados constituyen las emisiones gaseosas del proceso cuya minimización es necesaria a fin de disminuir el impacto ambiental producido por este proceso. (Carrasco, 2007).

2.4.5 Poder calorífico

Se define como poder calorífico a la cantidad de energía que desprende por unidad de masa un combustible al quemarse; en sentido estricto deben diferenciarse los conceptos de poder calorífico superior (si los gases de la combustión se recogen condensados) y el poder calorífico inferior (si los gases de la combustión se escapan como tales). Se mide en julios/Kg o Kcal /Kg. El valor calorífico del carbón vegetal es prácticamente equivalente al del carbono. La medida que da un calorímetro de bomba se considera como un indicador suficiente. (Marcos, 1989).

Uno de los factores que pueden afectar el poder calorífico y, por ende, la eficiencia y el proceso de conversión, es el contenido de humedad. La presencia de humedad significa una disminución del poder calorífico de la madera, ya que se requiere un consumo de calor para evaporarla (Patiño y Smith, 2008).

Según Montúfar (2012), dependiendo de la variedad y su contenido de humedad, el poder calorífico de la leña oscilar entre 4.000 y 5.000 Kcal/kg; por peso, todas las maderas tienen aproximadamente el mismo poder calorífico, pero por volumen las maderas duras tienen un poder calorífico más alto que las blandas. Según Marcos (1989), el poder calorífico de un combustible depende fundamentalmente de su composición química. A mayor contenido de carbono mayor es el poder calorífico. También depende de la humedad, a mayor humedad menor es la cantidad de materia combustible y mayor es el calor invertido en evaporar el agua por lo que el poder calorífico es menor.

Poder calorífico de algunas especies maderables

A continuación se presentan las especies leñosas y el potencial calorífico de cada una.

Cuadro 2. Poder calorífico de especies maderables.

Especie	PCS, Kcal/kg
<i>Eucalyptus</i> sp.	4,593
<i>Pinus</i> sp.	4,892
<i>Cedrela odorata</i>	4,316
<i>Cupressus lusitanica</i>	5,123
<i>Quercus</i> sp.	4,658
<i>Quercus robur</i>	4,083

(Montúfar, 2012)

2.5 EL CULTIVO DE CARDAMOMO

El cardamomo es un arbusto rizomatoso, perenne, leñoso, aromático, de hasta 4 m de altura. Con hojas envainadas, alternas, estrechas, lanceoladas. Las flores pueden ser blancas, amarillas o azules, reunidas en un escapo. El fruto es una cápsula, verde, con estrías longitudinales, dehiscentes y aromáticas. Las semillas son aromáticas y ovales. Es empleado como digestivo, estimulante, carminativo, antiespasmódico, tónico estimulante en dispepsia y afrodisíaco. (Fonnegra, 2007)

Nombre científico: *Elettaria cardamomum*

Nombre común: Cardamomo

Familia: Zingiberácea

Otros nombres: Cardamomo, granado del paraíso.

Descripción Botánica:

Arbusto rizomatoso, perenne, leñoso, aromático, de hasta 4 m de altura. Con hojas envainadas, alternas, estrechas, lanceoladas. Las flores pueden ser blancas, amarillas o azules, reunidas en un escapo. El fruto es una cápsula, verde, con estrías longitudinales, dehiscentes y aromáticas. Las semillas son aromáticas y ovales. (Fonnegra, 2007)

Climas y suelos

Es una planta de sombra, aunque también se puede cultivar al sol en zonas de mucha nubosidad, se recomienda sembrarla en terrenos con pendiente moderada (5 a 25 %) para favorecer el drenaje. Requiere de mucha humedad, más de 1500 mm de precipitación al año y no soporta épocas secas prolongadas mayores de tres meses.

La temperatura óptima para su cultivo esta entre 18 y 22 °C lo que normalmente se obtiene a alturas entre 800 y 1300 msnm. Prefiere los suelos orgánicos, livianos, preferiblemente de bosque, con muy buen drenaje, aunque se comportan muy bien en suelos volcánicos (MAGA s/f).

2.6 Producción de cardamomo a nivel nacional

Según las estadísticas del banco de Guatemala el comportamiento histórico de la producción de cardamomo durante el periodo de 1996 a 2006, ha sido de un promedio anual de 21,573 Toneladas métricas de producción, con una tasa de crecimiento anual del 8%, para el período. De igual manera, se puede apreciar que el área de producción ha ido en aumento, con un promedio anual, al 2006, de 54,379 hectáreas y una tasa de crecimiento del 4% (MAGA, 2007). (Anexo 2).

2.7 Secado de cardamomo

El proceso de secado puede definirse según Sierra (1998), como la actividad de convertir el cardamomo en cereza a pergamino, presentándose como cardamomo tipo especie. Esta conversión consiste en la deshidratación del cardamomo en cereza que generalmente se encuentra con un 75% de humedad al 10%, que es el porcentaje recomendado para esta especie y evitar así cambios en el color verde del grano, que es de vital importancia en la calidad del cardamomo en pergamino.

Aldana (2012), afirma que el secado se puede efectuar en varios tipos de secadoras, las más comunes son de gas, leña y diésel. El tipo de leña es bastante usado por su economía utilizando los recursos que se encuentran al alcance del productor.

El proceso de beneficiado lleva varios pasos, entre ellos: pesado, lavado (cuando el caso lo amerite), secado, descolado, segunda pesa, clasificación y empaque (CARDEGUA, 2012).

2.7.1 Secadora tipo Circular

Esta pila es fabricada de metal. Sus dimensiones generales tienen un diámetro de 3.75 metros por 1.22 m. de alto, con una capacidad de 40-50 quintales (1,818-2,272 kg.) de cardamomo en cereza.

a) Ventajas

1) Fácil de acomodar, ya que no ocupan mucho espacio.

b) Desventajas

- 1) Difícil de dar vuelta a la capa de cardamomo (por su amplitud interior).
- 2) Difícil de llenar y vaciar (Sierra, 1998).

2.7.2 Proceso de secado de cardamomo.

Como señala Sierra (1998), el proceso de secado de cardamomo dentro una secadora tipo circular requiere un proceso de forma que dentro del horno de la secadora y sobre la parrilla es colocada leña para generar fuego suficiente para adquirir una temperatura entre 50 °C y 55 °C aproximadamente. El aire al ser absorbido del exterior es obligado a pasar por los tubos que atraviesan el horno. En este momento ocurre la transferencia de calor del sistema hacia el aire y así éste ingresa en la cámara de distribución ya calentado a la temperatura deseada. El humo producido por el fuego sale al exterior por el orificio en la parte superior (chimenea) y la ceniza de la leña cae debajo de la parrilla para que pueda ser sacada del horno. Constantemente se alimenta con leña al fuego para mantener el sistema, generando calor a la temperatura deseada (50 °C– 55 °C).

2.8 Generalidades de las especies maderables utilizadas.

a) MADRECACAO (*Gliricidia sepium*)

Nombre Común: Madrecacao

Familia: Fabaceae.

Nombre Científico: *Gliricidia sepium* (Jacq.)Kunth. ex Walpers.

Sinonimia: *Gliricidia maculata*

Otros Nombres Comunes: Madre Cacao, Madero, Mata Ratón, Palo de Hierro, Michigüiste (Nicaragua.); Madreado, Madrecacao (Costa Rica); Mata Ratón (Colombia); Cokoite (México).

Distribución

Es una especie nativa de América, se extiende desde México y Centroamérica hasta Suramérica. Se ha naturalizado en Colombia, Guayanas y las Antillas. Crece en sitios bajos con climas secos a húmedos. Es un árbol de avanzada que invade terrenos pobres

y pedregosos en determinadas zonas en donde la vegetación arborescente ha sido erradicada (MARENA / INAFOR, 2002).

Requerimientos ambientales

En su hábitat natural se le encuentra en lugares con precipitaciones de 900 a 1,500 mm anuales y cinco meses de estación seca. Puede crecer en lugares con precipitaciones menores hasta de 500-600 mm/año y también se le ha reportado en lugares húmedos de hasta 3,500 mm anuales. Según MARENA/INAFOR (2002), esta especie se encuentra en un rango de temperaturas de 22 a 30 °C. Normalmente crece en sitios bajos, menores de 500 msnm. Crece bien en suelos secos a húmedos, incluso en suelos que tienen una gran concentración calcárea (CATIE, 1984).

Características sobresalientes

Es una de las especies más recomendadas y utilizadas en los sistemas agroforestales. La madera de esta especie sirve para construcciones pesadas, postes, mangos de herramientas, artículos de artesanía, implementos agrícolas.

Es excelente para leña y protección y restauración de suelos por ser fijador de Nitrógeno; producción de forraje y abonos verdes. También es muy usado como prendón para cercas vivas y como tutor para cultivos de enramada como la uva, granadilla, paste, pitahaya, etc. (MARENA / INAFOR, 2002).

Usos

Puede utilizarse en construcción rural, artículos pequeños, implementos agrícolas, mangos de herramientas y postes.

Cercos vivos

El uso más común del Madre Cacao es como cerco vivo, para lo cual su capacidad de reproducción vegetativa (prendedero o prendones) es una gran ventaja, además, los usuarios obtienen del cerco otros beneficios como leña, forraje, sombra, etc. Es una de las especies preferidas por los campesinos para leña y carbón. Su poder calorífico es de 4,900 kcal/kg. (CATIE, 1984).

Crecimiento

La supervivencia para casi todas las parcelas está en el rango de 70% a 93%. Los incrementos medios anuales en altura fluctúan entre 0.4 y 1.8 m/año y en diámetro de 1 a 2.4 cm./año. Esta especie no es espectacular en la ganancia volumétrica pues promedia entre 1.5 a 2.2 m³/ha/año (MARENA / INAFOR, 2002).

b) CUJE (*Inga* sp.)

Nombre Común: Cuje

Familia: Mimosaceae.

Nombre científico: *Inga vera* Willd

Sinonimia: *Inga spuria* H & B. Ex Willd.; *Inga inga* (L.) Britton; *Mimosa inga* (L.)

Nombre(s) común(es)

Chalahuite, vainillo, jinicuile (México); cuje (Guatemala); guaba (Honduras); pepo, cujin, zapato de mico (El Salvador), guma (Costa Rica); gina, guama (República Dominicana); sucrier, pois doux (Haití); guaba nativa, inga (Puerto Rico).

Origen

En Norte América; México y en Sur América, Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El salvador, Guayana Francesa, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela. En el Caribe; Cuba, República Dominicana, Puerto Rico y Haití. (CATIE, 1998)

Requerimientos ambientales

Es una especie que se adapta a climas cálidos y húmedos, se puede cultivar desde el nivel del mar hasta más de 1,200 msnm. CATIE, (1984). Y temperaturas que va desde 22 a 26°C. Crece bien en suelos ácidos y calizos bien drenados.

Forma biológica

Árbol siempre verde, de tamaño mediano y rápido crecimiento, alcanza de 13 a 20 m de altura y de 30 a 50 cm de diámetro (Rodríguez, 1990).

Usos

Según Rodríguez (1990), las diferentes especies de Inga no producen madera de excepcional calidad por lo cual su principal uso es como árboles para sombra, forraje, leña, etc. Sin embargo, puede ser utilizada en construcciones rurales (interiores), muebles rústicos, cajas, etc. La madera es de color blanco rosáceo a gris rosáceo, textura media, grano ondulado, superficie medianamente lustrosa, olor y sabor no característicos.

Leña y carbón

Produce leña y carbón de buena calidad. La madera de la *I. vera*, es moderadamente pesada (peso específico 0.57). Es un combustible excelente y se utiliza para hacer carbón vegetal. Los árboles rebrotan muy bien. CATIE, (1984).

Forraje

Generalmente el ganado sólo come las hojas cuando hay escasez de pastos y en verano. Las hojas son más palatales para las cabras, las vainas no son palatales. Las hojas contienen aproximadamente el 20% de proteína cruda con una digestibilidad «in vitro» del 26%.

Sombra para cafetales y cacaotales

Es utilizado para sombra en cultivos como el café y el cacao, con excelentes resultados desde hace más de cien años.

Características especiales

Es utilizado en sistemas agroforestales como sombra de cafeto y cacao, ya que es una especie de la familia leguminosa que aporta materia orgánica e incorpora nitrógeno del medio ambiente al suelo mejorando las condiciones físico-químicas del mismo y

protegiéndolo contra la erosión hídrica y eólica. También produce excelentes postes para cercado y su madera es utilizada como leña. La semilla de los frutos es carnosa y cocida es alimenticia para los seres humanos al igual que la cobertura de la semilla que es una capa mucilaginosa de sabor dulce, también apetecida por la fauna silvestre (MARENA / INAFOR, 2002).

C) EUCALIPTO (*Eucalyptus* sp.)

Taxonomía: Según Cronquist (1981), la clasificación taxonómica del Eucalipto es la siguiente:

Reino: Plantae

Sub-Reino: Hembryobionta

División: Magnoleophita

Clase: Magnolepsida

Sub-Clase: Rosidae

Orden: Mortales

Familia: Myrtaceae

Sub-Familia: Leptospermoidae

Género: *Eucalyptus*

Descripción Botánica

Es una especie siempre verde, de 24-40 m. de altura (hasta 50 m. en algunas regiones de Australia), fuste grueso de base recta y tronco generalmente torcido, de 60 cm hasta 100 cm de diámetro, con copa abierta e irregular, corteza lisa, blanca, ligeramente grisácea, desprendible en citas largas o en placas irregulares que exponen capas internas de corteza blanquecina. Tamillas terminales rojizas, largas y delgadas que cuelgan en ángulos agudos. Forma un sistema radicular profundo y bastante amplio. Se pueden formar posteriormente alternas. Las hojas adultas lanceoladas, pecioladas, delgadas y pendientes, recurvadas, de borde liso, glabras, color verde opaco en el haz, el envés ocasionalmente es gris (Tovar, 1986).

Distribución y Hábitat:

El *Eucaliptus*, especie nativa de Australia, pertenece a la familia Myrtaceae y es el eucalipto de más amplia distribución es su país de origen, se encuentra localizada a 23 grados de latitud norte a sur en todos los estados australianos con excepción de Tasmania. Se distinguen dos formas, una meridional o templada y una tropical. Es una de las especies ampliamente plantada en los países del mediterráneo y en las zonas húmedas y sub-húmedas de América Central y una de las especies que mejores crecimientos iniciales ha mostrado en estas áreas.

El árbol crece inicialmente bien en una gran variedad de climas, en suelos relativamente pobres, y en áreas con sequías prolongadas. En general se le encuentra en forma natural tanto en zonas con poca precipitación, como en zonas de mayor pluviosidad (200 a 1250 mm); en América Central se ha plantado en zonas con precipitación entre 620 y 2900 mm anuales y hasta ocho meses con déficit hídrico.

Es una especie de zonas bajas fluviales, algunas precedencias pueden plantarse en zonas altas, hasta 1400 msnm. Por su altitud normalmente posee amplia distribución en plantaciones, en América Central se plantado desde el nivel del mar hasta 1200 msnm. En general en la zona de origen la especie soporta temperaturas altas en verano 29-35 grados centígrados y temperaturas bajas hasta 3-5 grados centígrados en invierno y hasta 50 grados centígrados heladas. En América Central se le ha plantado en sitios con temperaturas medias de 20 a 29 grados centígrados. (Tovar, 1986)

Madera:

Su madera es moderadamente densa (0,6 g/cm), se le utiliza para construcción en general, ya que el duramen rojizo es moderadamente fuerte, duradero y resistente a termitas.

Usos:

El Eucalipto como lo describe Tovar (1986), se emplea principalmente en la fabricación de postes, durmientes, tableros, interiores, para pisos, encofrados y algunas veces para

la fabricación de pulpa y papel. Los fustes de plantaciones jóvenes o los rebrotes pueden utilizarse como soportes en construcción de tendales de tabaco. Tiene una gran potencial como leña. Cuando la madera está completamente seca constituye un combustible excelente. Tiene un poder calórico de aproximadamente 20.000 KJ/Kg. (4.800 Kcal. /Kg.). Produce carbón de excelente calidad. Una de las limitaciones de la madera de esta especie es que se quema en forma rápida y produce humo (Tovar, 1986).

2.9 ANTECEDENTES

2.9.1 Deforestación a nivel nacional

Los resultados finales del Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2010 y dinámica de la Cobertura Forestal 2006, UVG, URL, INAB, CONAP (2012), estiman que la República de Guatemala contaba con una cobertura de bosque equivalente a 3,722,595 hectáreas para el año 2010, lo que representa un 34.2 % del país.

El dato revisado para el año 2006 es de 3, 868,708 hectáreas de cobertura forestal, lo cual equivale al 35.5 % del territorio Nacional. En el periodo de 2006 al 2010, existió una pérdida en la cobertura forestal, lo que representa una pérdida neta anual de 38,597 ha, equivalentes a una tasa de deforestación anual de 1.0%, donde es importante resaltar que parte de esta deforestación existió dentro de áreas protegidas.

Para todo el período de estudio, a nivel nacional se estima que se produjo una pérdida en la cobertura forestal de 500,219 hectáreas. Durante este mismo período de tiempo se estimó una ganancia de bosque de 354,107 hectáreas, lo que refleja una pérdida neta de 146,112 hectáreas de bosque.

Al ser la deforestación neta para el país de 146,112 hectáreas, obtenemos que se ha perdido un 3.78 % con respecto al bosque que existía en el año 2006.

En términos anuales, la pérdida anual bruta asciende a 132,137 hectáreas, y la ganancia anual bruta a 93,540 hectáreas, lo cual resulta en una pérdida neta de 38,597 hectáreas anuales, o un 1.0 % de pérdida anual respecto al bosque existente en el año 2006 (UVG, URL, INAB, CONAP, 2012).

2.9.2 Consumo de leña a nivel industrial en Guatemala

Con respecto al consumo de leña a nivel industrial, las industrias a nivel nacional han utilizado leña como combustible para el procesamiento del secado de granos cardamomo y otros productos. En un estudio realizado por INAB, IARNA-URL, FAO (2012), sobre la oferta y demanda de leña en Guatemala, se determinó que en Guatemala se consume un total de 352,953.40 toneladas de leña anuales para las industrias a nivel nacional. A través de este estudio determino que para el año 2010 en el departamento de Alta Verapaz existió una producción de 450,000 quintales (20,454,545.45 kg.) de cardamomo, dividido entre los seis municipio productores a nivel del departamento, donde los municipios de Alta Verapaz asumen la totalidad del consumo de leña para el secado de cardamomo con 16,361.05 toneladas de leña.

Las plantaciones con fines energéticos están tomando importancia a nivel de país, en búsqueda de alternativas energéticas que sustituyan los combustibles fósiles, se han realizado estudios para determinar el rendimiento de madera proveniente de bosques energéticos. Como la investigación realizada por De León (2012), en el departamento de Escuintla en un ingenio azucarero sobre la factibilidad para la producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de eucalipto donde se comprobó que la madera de eucalipto mantiene estable la operación en la caldera y logra mantener una disponibilidad de potencia para la producción de energía.

Sustituyendo en época de no zafra al bagazo de caña. Además, se realizó una comparación entre generadoras y se visualizó que el costo con bunker es mayor que el costo con chip de madera, el cual es una alternativa para reducir costos y tener mayores ganancias en el ingenio azucarero. Así como está y otras especies principalmente con fines energéticos pueden ser utilizadas para la sustitución de combustibles fósiles, con enfoque al sector industrial, debido al alto poder calorífico y otras cualidades que las distintas especies leñosas pueden aportar.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION DEL TRABAJO

3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento poblacional, la ganadería extensiva, el uso de leña y el avance de la frontera agrícola, son las principales causas de la deforestación a nivel nacional (INAB, 2015). Estudios reportan una pérdida de cobertura forestal de 132,137 ha/año teniendo que para ese mismo año se reflejó un consumo de leña a nivel del área rural de 2.7 m³/hab/año y para el área urbana de 1m³/hab/año (URL/IARNA, 2012).

El aprovechamiento ilícito para consumo de leña y madera es una de las principales razones de la reducción del volumen forestal. Estimaciones de la Cuenta Integrada del Bosque indican que este volumen corresponde a 76% de leña y 24% de madera. En el caso de la madera se estima que dos terceras partes de la madera que se procesa en el país son de origen no controlado. (URL, IARNA, 2009). En relación a las cifras que existen sobre el consumo de leña, se han basado principalmente en estimaciones, pues la mayor parte de la producción y el consumo tienen lugar fuera de los canales comerciales, por lo que no son registrados (Scherpenisse, 1986). Es por esto que la única forma de medir esta actividad ha sido mediante encuestas de consumo, en lugares donde se utiliza leña.

Las industrias dedicadas al secado de cardamomo no determinan el rendimiento ni el volumen exacto de las especies de leña que utilizan durante el proceso de secado de cardamomo, lo que tiene repercusiones en el bosque, así como también en la economía del propietario de la industria, provocando un exceso de leña o una escases de la misma en la industria. La dificultad más seria surge debido a la medición de la leña en metros estéreos, dando como resultado estimaciones erróneas en cuanto al volumen requerido a utilizar durante cada proceso de secado. En el municipio de Santa Catalina la Tinta existe la dificultad de encontrar información básica acerca del volumen de leña consumida en metros cúbicos (m³) y la forma de utilización de leña como energía para el sector industrial, e información que refleje el volumen real de leña utilizada para el secado de cardamomo.

3.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Los bosques naturales son la fuente principal para la obtención de leña, los cuales siguen en disminución rápidamente, ya que los últimos reportes estiman una pérdida de 132,137 ha/año (URL/IARNA, 2012).

Parte de esta deforestación es utilizada con fines energéticos principalmente la leña, la cual se estimó en 15, 771,186.97 toneladas, de las cuales 15, 418,233.58 t¹ fueron consumidas por el sector doméstico y 352,953.40 t fueron consumidas por el sector industrial (INAB, IARNA-URL FAO, 2012). Los datos reflejan la dependencia del uso de la leña como combustible energético para los hogares y las industrias, leña que principalmente proviene de bosques naturales.

Para las industrias dedicadas al secado de cardamomo, el rendimiento de la leña es muy importante, en este sentido el presente estudio tiene la finalidad de determinar la volumetría de tres especies de leña utilizadas en este proceso, con el objetivo de estimar la cantidad de metros cúbicos de leña que se requieren para secar cardamomo, de esta manera generar una estimación exacta del volumen de leña necesario y evitar excesos o faltantes de leña en cada proceso de secado. Las especies a utilizar serán Madre Cacao (*Gliricidia sepium*), Cuje (*Inga* sp.) y Eucalipto (*Eucalyptus* sp.) por ser especies de uso actual en el secado.

A través de la investigación generar alternativas metodológicas, como la estimación del volumen en metros cúbicos a utilizar para el proceso de secado de cardamomo, y de esta manera buscar contrarrestar la problemática de escases de la información que representa el consumo de leña, para el sector industrial principalmente en el secado de cardamomo. Los resultados a obtener en el estudio serán un aporte muy importante para el sector industrial de la región del municipio de Santa Catalina la Tinta y la región cardamomera de Alta Verapaz, de igual manera poder planificar la reparación de las áreas taladas con las especies evaluadas en el estudio, a través de la implementación de bosques energéticos para la producción de leña.

¹ 1 Ton leña seca al 0% de humedad = 3.235 m³ st (CARDER, 2013)

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los volúmenes en metros cúbicos de tres especies de leña que se utilizan en el proceso de secado de cardamomo, (*Elettaria cadamomum*) en el municipio de Santa Catalina La Tinta Alta Verapaz.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estimar el volumen en metros cúbicos de tres especies de leña que se utilizan durante el proceso de secado de cardamomo.
- Determinar el poder calorífico de las tres especies de leña utilizadas como combustible en el secado de cardamomo.
- Calcular la rentabilidad del uso de cada una de las especies de leña en el proceso de secado de cardamomo.

5. HIPÓTESIS

5.1 HIPOTESIS NULA (H_0)

- H_0 : Ninguna especie presentará un volumen estadísticamente significativo en el secado de cardamomo, bajo las condiciones del Municipio de la Tinta Alta Verapaz

5.2 HIPOTESIS ALTERNA (H_a)

- H_a : Al menos una especie presentará un volumen estadísticamente significativo en el secado de cardamomo, bajo las condiciones del municipio de la Tinta Alta Verapaz.

6. METODOLOGÍA

6.1 LOCALIZACIÓN

El estudio se realizó en el municipio de Santa Catalina la Tinta, Alta Verapaz. El municipio está ubicado en las coordenadas $15^{\circ} 18' 09.4''$ Norte y $89.5^{\circ} 55' 04.9''$ Oeste a una altura de 120 metros sobre el nivel del mar con una extensión territorial municipal de 196 km². Las evaluaciones fueron realizadas en las instalaciones de inversiones corporativas Saquiepec S.A., ubicada en el municipio de la Tinta Alta Verapaz.

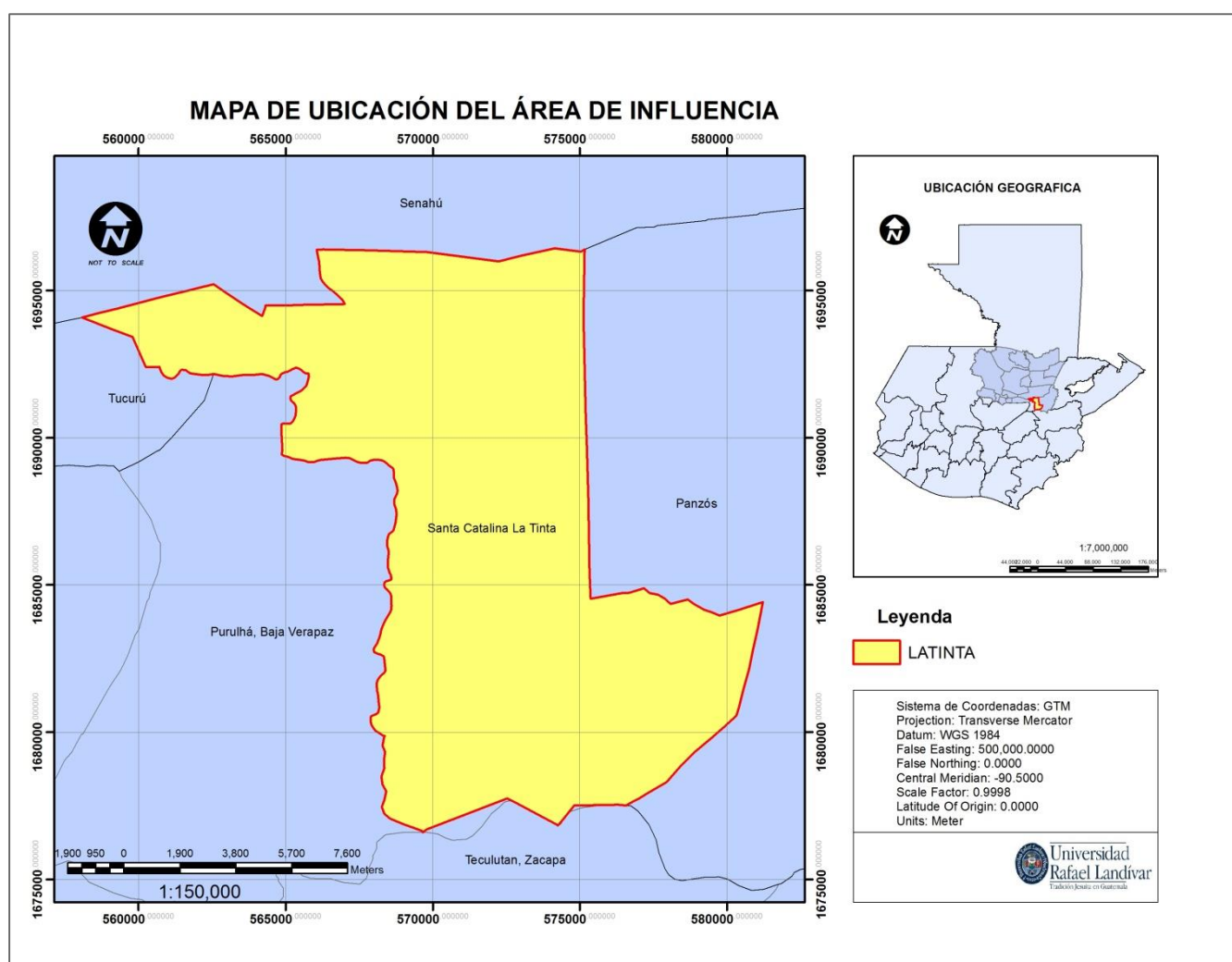


Figura 1. Mapa de ubicación del municipio de Santa Catalina la Tinta, Alta Verapaz

6.1.1 Vías de acceso

Se localiza al sureste de Cobán, cabecera departamental de Alta Verapaz a 93 kilómetro, de la ciudad de Guatemala se recorre 245 km, por la ruta nacional 7E.

6.1.2 Clima

Las características bioclimáticas del área son: el 87 % de zona cálida muy húmedo, con vegetación de bosque húmedo, subtropical cálido. El 13 % en zona templada muy húmeda con vegetación de bosques muy húmedo, subtropical templado (MAGA 2005). Las condiciones climáticas del municipio según reporte del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala –INSIVUMEH- son las siguientes: Temperatura mínima promedio 20.8°C, temperatura media anual 26 °C, temperatura máxima 36 °C, humedad relativa promedio 79%, 156 días de lluvia por año, precipitación promedio anual de 2430 mm (INSIVUME, 2014).

6.1.3 Zona de vida

Según la clasificación de MAGA (2001), basado en el mapa de zonas de vida de Holdridge para Guatemala, el área de estudio se encuentra en la zona de Bosque muy húmedo Subtropical (Cálido)

6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

El material experimental fue definido como la leña utilizada en el proceso de secado de cardamomo, de las tres especies evaluadas, detallados a continuación:

Leña de Eucalipto (*Eucalyptus* sp.)

Leña de Madre Cacao (*Gliricidia spium*)

Leña de Cuje (*Inga* sp.)

Secadora de Cardamomo: infraestructura donde se realizó el proceso de secado de cardamomo.

6.3 FACTORES ESTUDIADOS

Los factores estudiados en la investigación se basan en variables que determinan las características de rendimiento, poder calorífico y rentabilidad del uso de las especies de leña.

6.4 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.

La investigación se basó en evaluar el rendimiento de leña durante el secado de cardamomo a través de tres especies utilizadas en el área de estudio, considerando cada especie como un tratamiento.

Cuadro 3, descripción de los tratamientos utilizados en el proceso de secado de cardamomo.

No. De Tratamientos	Código de Tratamiento	Descripción
1	T1	Secado con leña de Eucalipto (<i>Eucalyptus</i> sp.)
2	T2	Secado con leña de Madre cacao (<i>Gliricidia sepium</i>)
3	T3	Secado con leña de Cuje (<i>Inga</i> sp.)

6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para esta investigación se implementó un prueba de hipótesis estadística acerca de dos medias poblacionales dependientes o pareadas, utilizando una misma secadora tipo circular, en la cual se realizó el secado de cardamomo con leña. Cada uno de los tratamientos se repitió 5 veces para tener valores importantes para el análisis de resultados.

6.6 MODELO ESTADÍSTICO

Para esta evaluación de prueba de hipótesis, se procede con algunos procedimientos importantes, que se detallan:

Establecer las hipótesis:

Para este caso, se definieron las hipótesis a evaluar:

$H_0: \mu_D = \mu_Q - \mu_P = 0$; que define que la media de las diferencias de las variables evaluadas en la secado de cardamomo con las tres especies es igual a cero.

$H_a: \mu_D = \mu_Q - \mu_P \neq 0$; que define que la media de las diferencias de las variables evaluadas en el secado de cardamomo con las tres especies es diferente de cero (López& González, 2016).

Calculo de las estadísticas de prueba:

Para la siguiente evaluación se utilizaron los siguientes estadísticos de prueba:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \quad t_o = \frac{\bar{d} - \mu_D}{S_{\bar{d}} / \sqrt{n}}$$

Definición de nivel de significancia y zona de rechazo:

Se utilizó un nivel de significancia de 0.05 (valor "p") para una prueba bilateral y 4 grados de libertad (n-1); teniendo en este caso un valor crítico para la tabla "t" Student de 2.1318.

6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

Cada unidad experimental consistió en una secadora de cardamomo tipo circular de metal, a la cual a través de su cámara de combustión se le adicionó leña para el proceso de secado, por cada especie, tomando en cuenta los 3 tratamientos y las 5 repeticiones se establecieron 15 unidades experimentales.

6.8 CROQUIS DE CAMPO

Descripción del diseño esquemático de la distribución de los tratamientos durante la evaluación en campo.

Cuadro 4. Croquis de Campo de los tratamientos utilizados en el secado de cardamomo

TRATAMIENTOS			REPETICIONES
A	B	C	I
A	B	C	II
A	B	C	III
A	B	C	IV
A	B	C	V

Cuadro 4. croquis de campo del experimento, luego de definir la prueba de hipótesis con medias poblacionales dependientes o pareadas, donde los tratamientos se definieron como:

A= secado de cardamomo con leña de *Eucalyptus* sp.

B= secado de cardamomo con leña de *Gliricida sepium*

C= secado de cardamomo con leña de *Inga* sp.

6.9 MATERIALES

A continuación se presenta el material y equipo utilizado durante la investigación en las fases de campo y gabinete.

Recurso humano	Materiales	Equipo
Estudiante de la universidad Rafael Landívar	Secadora de cardamomo tipo circular	Cinta métrica
12 Jornales para el secado de cardamomo	Pita rafia	Computadora
4 Jornales para la extracción de leña	Machetes	Balanza
	Metros cúbicos de leña	Libreta de campo
	Carretilla	Reloj

Cuadro 5. Material y equipo utilizado durante el proceso de secado de cardamomo.

6.10 MANEJO DEL EXPERIMENTO

6.10.1 Área e instalaciones del experimento

Para el estudio fue necesario un beneficio de cardamomo ubicado en el Municipio de Santa Catalina la Tinta, Alta Verapaz, se utilizó una secadora de cardamomo tipo circular, que utiliza leña como combustible. De aproximadamente una capacidad de 60 a 70 quintales (2,727-3,181 kg.) de cardamomo en cereza.

6.10.2 Abastecimiento, troceado y secado de la leña .

Los materiales que se utilizaron se recolectaron y se transportaron hacia el área donde se localiza el beneficio de cardamomo, cada trozo de leña fue cortado de acorde a la capacidad de la cámara de combustión de la secadora utilizada.

Después de ser medida, cortada y troceada, la leña se ordenó apilada bajo techo frente a condiciones ambientales del lugar de estudio. La leña fue cortada aproximadamente Cuatro meses antes de ser utilizada como combustible para el secado de cardamomo, esto para evitar altos porcentajes de humedad en la madera. Esta práctica se realizó a todas las especies utilizadas.

6.10.3 Medición de metro estéreo de leña

Previo a realizar las mediciones del total de metros cúbicos de leña que son necesarios para secar 40 quintales (1818.18 kg.) de cardamomo Cereza y convertirlos a cardamomo pergamino, se procedió a medir un metro estéreo de leña de cada una de las especies utilizadas.

Posteriormente en gabinete se transformó esta medida comercial a la medida en metros cúbicos, que es la variable utilizada para el análisis. Para ello se utilizó la siguiente formula.

$$V = A(m) * A(m) * L(m) * X = \text{factor de conversión}$$

$$V = \text{Volumen en m}^3$$

$$A = \text{Ancho en m}$$

$$A = \text{Alto en m}$$

$$L = \text{Largo en m}$$

$$X = \text{Factor de conversión a metros Cúbicos}$$

(INAB, 2004).

En este caso se omitió el factor de apilamiento general y se obtuvo el factor de conversión por cada una de las especies utilizadas para la investigación.

Formula general para transformar metros estéreos a metros cúbicos.

$$V = A(m) * A(m) * L(m) * 0.784$$

Significado:

V = Volumen en m³

A = Ancho en m

A = Alto en m

L = Largo en m

0.784 = Factor de apilamiento

(INAB, 2004).

6.11 Determinación del factor de conversión por especie

Para determinar el factor de conversión de metros estéreos a metros cúbicos de cada una de las especies, se procedió a cubicar cada uno de los trozos de leña que ingresaron dentro del metro estéreo, la cubicación de cada uno de los leños se realizó a través de la Formula de Smalian. Obteniendo los siguientes factores de conversión para cada una de las especies evaluadas.

$$\text{Formula de Smalian Volumen} = 0.7854 * \frac{(D_1^2 + D_2^2) * L}{2}$$

(INAB, 2004).

Cuadro 6. Factor de conversión para cada especie de leña evaluada durante el secado de cardamomo.

Especie	Metro Estéreo	Factor de conversión
<i>Eucalyptus</i> sp.	0.5*1*2 m.	0.85
<i>Gliricidia sepium</i>	0.5*1*2 m.	0.75
<i>Inga</i> sp.	0.5*1*2 m.	0.82

6.12 Análisis estadístico a través del método de medias pareadas

Para determinar que especie obtuvo el mejor rendimiento en el secado de cardamomo, se utilizó el análisis estadístico de medias pareadas para dar una mayor validez a las inferencias obtenidas, controlando o eliminando la influencia de variables extrañas cuyo efecto ya es conocido o sospechado y no se desea que intervenga en el estudio actual.

6.13 Estadístico de medias pareadas.

Se procedió a realizar el análisis estadístico de las combinaciones de las medias obtenidas de cada una de las especies de leña evaluadas en el estudio, para esto se procedió a través del estadístico de medias pareadas y realizando las siguientes combinaciones entre especies para determinar diferencias estadísticas entre cada una.

Cuadro 7. Emparejamiento entre especies de leña evaluadas.

ESPECIE			
combinación	Madre cacao	Versus	Eucalipto
	Madre cacao	Versus	Cuje
	Cuje	Versus	Eucalipto

Las medias obtenidas de cada una de las especies evaluadas fueron ingresadas al programa de INFOSTAT, para realizar el análisis estadístico de cada una de las combinaciones realizadas.

6.14 Determinación del poder calorífico superior de las especies de leña evaluadas para el secado de cardamomo

6.14.1 Recolección de muestras

Para determinar el poder calorífico de las tres especies leñosas se prepararon los materiales evaluados, esto consistió en elaborar pequeñas cantidades de aserrín de cada una de las sub muestras por cada especie, hasta obtener una muestra de cada especie

equivalente a 2 kilogramos de madera. Posteriormente fueron enviados al laboratorio Técnico del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala.

6.14.2 Identificación de muestras

Cada muestra fue identificada por el investigador, luego fueron enviadas con su identificación correspondiente, con el nombre de la especie, número de muestras, responsable del muestreo, localización, y fecha de muestreo, como lo recomienda Rojas (2014).

Las muestras fueron seleccionadas al azar de diferentes leños de donde se extraerán las muestras representativas del total de la leña utilizada por especie.

6.14.3 Variables a obtener en el laboratorio

Cada una de las muestras por especie, fue enviada al laboratorio técnico del Ministerio de Energía y minas de Guatemala, con el objetivo de obtener los valores del Potencial calorífico superior en Kcal/kg y % Humedad, presentes en cada una de las especies.

6.15 RENTABILIDAD DEL USO DE LA LEÑA EN EL SECADO DE CARDAMOMO

6.15.1 Recopilación de información económica

Para el análisis de rentabilidad en el uso de la leña por cada una de las especies se procedió a realizar la recopilación de la información, basada en precios por cada metro cubico de leña, jornales, combustible, precios de cardamomo cereza y pergamino, utilizado en cada evaluación realizada, para su posterior análisis. Esto fue a través de una boleta de recolección de la información.

Al tener los volúmenes reales utilizados en el proceso de transformación del producto y contar con los precios pagados por los volúmenes comerciales, se procedió a estimar el valor de la leña utilizada para la transformación de cardamomo cereza a pergamino.

6.15.2 Calculo de rentabilidad

Para calcular la rentabilidad de cada especie de leña, fue necesario realizar un análisis de costos por cada especie, que determinará cuál de los tratamientos utilizados obtuvo la mejor rentabilidad durante el estudio. Para poder realizar este cálculo fue necesario llevar los registros de costos detallados por cada hornada de cardamomo y leña utilizada. (Anexo, 11.4)

Para obtener el porcentaje de rentabilidad se utilizó la siguiente formula:

$$R = Ingresos - Costos = UT.Neta$$

$$R = \frac{UT.Neta}{costos} * 100$$

(De León, 2010)

6.16 VARIABLES A ESTUDIAR

Consumo de leña (metros cúbicos) objetivo específico 1

Poder calorífico de cada especie (kcal/kg) Objetivo específico 2

Rentabilidad del uso de la leña. Objetivo específico 3

6.17 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El objetivo principal de la investigación es determinar el rendimiento de tres especies de leña que se utilizan en el secado de cardamomo, para ello luego de efectuar las mediciones de las variables se elaboró una base de datos, ingresando todos los valores de las variables al programa Excel de Microsoft Office®. Esto con la finalidad de garantizar la confiabilidad de los datos.

6.17.1 Análisis Estadístico

Posterior a la recopilación de información, se realizó la tabulación de datos y se realizó el análisis estadístico para conocer los promedios de las variables de respuesta (metros cúbicos de leña). Luego se realizó el análisis estadístico a través de la prueba t pareadas de las medias obtenidas para determinar si se acepta o rechaza la hipótesis planteada, para analizar los datos obtenidos se utilizó el programa estadístico InfoStat®.

Para el análisis de rentabilidad en el uso de la leña por cada una de las especies se procedió a realizar la recopilación de la información, basada en precios por cada metro cubico de leña, jornales y combustible utilizado en cada evaluación realizada, para su posterior análisis, en el programa Excel de Microsoft Office®.

7. RESULTADOS Y DISCUSION

En esta sección del documento se presentan los resultados alcanzados de manera desglosada, para cada uno de los objetivos planteados al inicio de la investigación. Cada uno de los pasos realizados en la investigación, conllevó a obtener los resultados esperados con respecto a los objetivos planteados y de esta manera lograr responder al objetivo general de la investigación.

7.1 Rendimiento de leña en volumen (m³)

En el manejo del experimento se obtuvo resultados en volumen inicial de leña en metros cúbicos y volumen final en metros cúbicos de leña por cada proceso de secado realizado, a partir de los cuales se calcularon los rendimientos obtenidos por cada una de las especies evaluadas.

Para determinar el volumen necesario para secar 40 quintales (1,818 kg.) de cardamomo cereza a pergamino, se realizaron mediciones por cada una de las secadas efectuadas para cada especie de leña evaluada.

Cuadro 8. Rendimiento en volumen en m³ para las tres especies de leña evaluadas en el proceso de secado de cardamomo.

Repetición	<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Eucalyptus sp</i>	<i>Inga sp</i>	qq cardamomo cereza	(kilogramos)
I	2.175	1.9635	2.378	40	1818
II	2.1375	1.9975	1.886	40	1818
III	1.9725	1.95	2.296	40	1818
IV	1.9125	1.921	2.05	40	1818
V	2.115	1.972	2.173	40	1818
PROMEDIO	2.0625	1.9608	2.1566	40	1818

En el cuadro 10, se presentan los rendimientos obtenidos por cada una de las especies evaluadas en relación a la cantidad de cardamomo secado.

Se observa el requerimiento promedio de leña necesario para transformar cardamomo cereza a pergamino, obteniendo los mejores rendimiento para la especie de *Eucalyptus* sp. Con un total de 1.9608 m³ de leña para secar 40 quintales (1,818 kg.) de cardamomo cereza para ser transformado a pergamino.

La especie de *Gliricidia sepium*, presentó el segundo lugar con una promedio de 2.0625 m³ de leña, la especie *Inga* sp. arrojó los mayores volúmenes promedios utilizados para secar 40 quintales de cardamomo, equivalentes a 2.16 m³ de leña.

7.2 Análisis estadístico a través del método de medias pareadas

Se realizó prueba de comparación de medias pareadas en el programa Infostat® para la comprobación de hipótesis donde la toma de decisión fue la siguiente: para hipótesis nula (H₀); si el nivel de probabilidad es mayor a 0.05 (valor p) Ninguna especie presentará un volumen estadísticamente significativo en el secado de cardamomo; para hipótesis alternativa (H_a) si el nivel de probabilidad es menor a 0.05, Al menos una especie presentará un volumen estadísticamente significativo en el secado de cardamomo.

En cuadro 9 se presenta la prueba T pareada para las especies de *Eucalyptus* sp. y *Gliricidia sepium*, tomando en consideración las 5 repeticiones realizadas por cada especie de leña, para una prueba bilateral.

Cuadro 9. Prueba pareada de T, para el rendimiento de leña en m³ en el proceso de secado de cardamomo de las especies *Gliricidia sepium* y *Eucalyptus* sp.

Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
MADRE								
CACAO	EUCALIPTO	5	0.1	2.06	1.96	0.09	2.48	0.0682

De acuerdo a los resultados del cuadro 9, como el valor de la probabilidad calculada (Bilateral 0.0682) es mayor que 0.05 se acepta la hipótesis nula, que dice que ninguna especie de leña presentará un volumen estadísticamente significativo y se rechaza la

hipótesis alterna. La media para Madre cacao, es de 2.06 m³ de leña y 1.96 m³ para *Eucalipto* sp. obteniendo una diferencia de 0.1 m³ entre cada una de las especies comparadas entre sí.

Cuadro 10. Prueba pareada de T, para el rendimiento de leña en m³, en el secado de cardamomo de las especies *Gliricidia sepium* e *Inga* sp

Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
MADRE CACAO	CUJE	5	-0.09	2.06	2.16	0.22	-0.97	0.3857

De acuerdo a los resultados del cuadro 10, Como el valor de la probabilidad calculada (Bilateral 0.3857) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula, que dice que ninguna especie de leña presentará un volumen estadísticamente significativo y se rechaza la hipótesis alterna. La media para *Gliricidia sepium*, es de 2.06 m³ de leña y 2.16 m³ para *Inga* sp. obteniendo una diferencia de 0.1 metros cúbicos entre cada una de las especies comparadas entre sí.

Cuadro 11. Prueba pareada de T, para el rendimiento de leña en m³, en el proceso de secado de cardamomo de las especies *Eucalyptus* sp. e *Inga* sp.

Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
EUCALIPTO	CUJE	5	-0.2	1.96	2.16	0.21	-2.13	0.1004

De acuerdo a los resultados del cuadro 11, Como el valor de la probabilidad calculada (Bilateral 0.1004) es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula, que dice que ninguna especie de leña presentará un volumen estadísticamente significativo y se rechaza la hipótesis alterna. La media para *Eucalyptus* sp. es de 1.96 m³ de leña y 2.16 m³ para *Inga* sp. obteniendo una diferencia de 0.20 metros cúbicos entre cada una de las especies comparadas entre sí.

Los resultados anteriores al ser comparados con Aguilar (2015), muestran diferencias en cuanto al volumen de leña necesario para transformar 40 quintales (1818 kg.) de cardamomo cereza a pergamino con respecto a las especies evaluadas en este estudio,

determinando un promedio de 2.48 m³ de leña para transformar 40 quintales (1,818 kg.) de cardamomo cereza a pergamino, equivalentes a 0.31 m³ de leña para transformar 1 quintal (45.46 kg.) de cardamomo cereza a pergamino. Estas variaciones podrían darse debido a la metodología utilizada para obtener los valores y el tipo de leña utilizada para el proceso de secado en el municipio de la Tinta, Alta Verapaz.

De León (2012), comparo el rendimiento de la madera de Eucalipto proveniente de bosques energéticos en el departamento de Escuintla, realizando la combustión de la madera en calderas de un ingenio azucarero y determino la factibilidad para la producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de eucalipto, donde se comprobó que la madera de eucalipto mantiene estable la operación en la caldera y logra mantener una disponibilidad de potencia para la producción de energía. La leña de Eucalipto sp, utilizada en el estudio presento el mayor rendimiento en volumen para transformar 40 quintales (1,818 kg.) de cardamomo cereza a pergamino, con 1.96 m³.

cómo se puede observar en la figura 2, la comparación a partir de una prueba T pareada, muestra que no se presentan diferencias entre la variable rendimiento, expresada a partir de la cantidad de metros cúbicos de leña utilizados para secar 40 quintales (1,818 kg.) de cardamomo cereza.

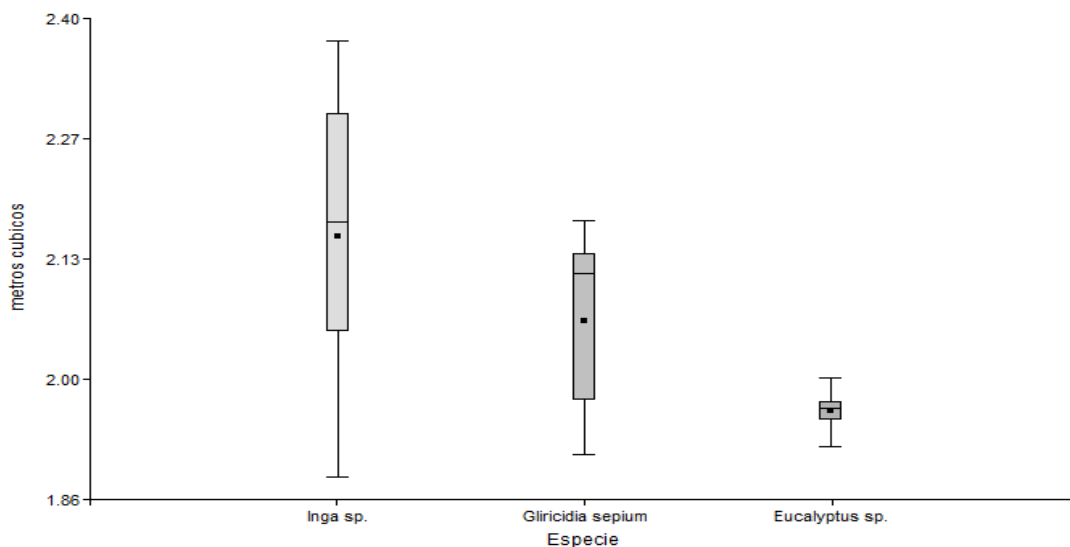


Figura 2. Prueba de medias del rendimiento de las tres especies de leña utilizadas en el proceso de secado de cardamomo.

7.3 ANALISIS INTEGRADOR DE LAS TRES ESPECIES EVALUADAS COMO LEÑA EN EL PROCESO DE SECADO DE CARDAMOMO

Según los resultados presentados en los cuadros anteriores, ninguna especie de leña evaluada presentó una diferencia estadística significativa. Debido a que los valores de la probabilidades calculadas son mayores a $\alpha=0.05$, las especies de leña evaluadas, *inga* sp, *Gliricidia sepium* y *Eucalyptus* sp. no tienen un volumen diferente estadísticamente significativo a la hora de ser utilizados como combustibles en el secado de cardamomo. Las diferencia obtenidas en metros cúbicos por especies es de 0.1 m³ entre *Gliricidia sepium* y *Eucalyptus* sp. la diferencia obtenida entre *Gliricidia sepium* e *inga* sp. es de 0.1 m³, para el caso de *Eucalyptus* sp. e *inga* sp. se obtuvo una diferencia de 0.20 m³ entre cada una de las especies comparadas.

7.4 DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO SUPERIOR Y PORCENTAJE HUMEDAD DE LEÑA UTILIZADA:

7.4.1 Poder calorífico

Para determinar el poder calorífico de las tres especies leñosas se prepararon los materiales evaluados, esto consistió en elaborar pequeñas cantidades de aserrín de cada una de las sub muestras por cada especie, hasta obtener una muestra de cada especie equivalente a 2 kilos de madera, que posteriormente fueron enviados al laboratorio Técnico del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala.

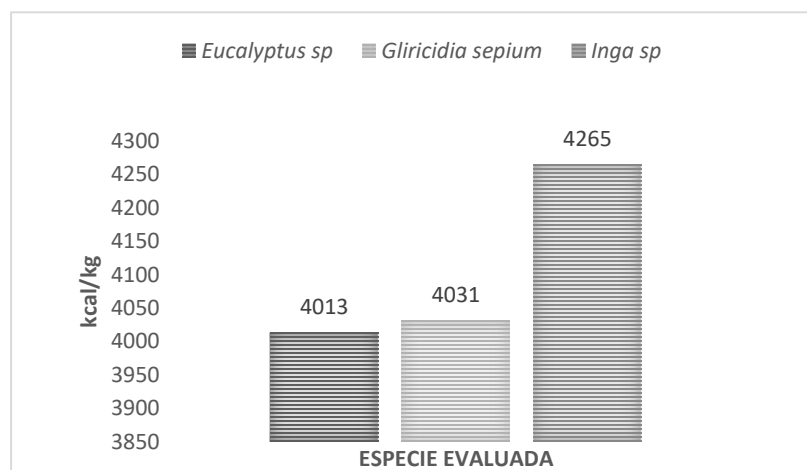


Figura 3. Poder calorífico superior en Kcal/kg por cada especies evaluadas como leña en el secado de cardamomo.

En base a los resultados de laboratorio, La especie de *Inga sp*, presento el mejor resultado en relación a poder calorífico superior con 4,265 Kcal/kg de madera, la especie de *Gliricidia sepium* obtuvo un resultado de 4,031 Kcal/kg y la especie de *Eucalyptus sp*, presento el menor resultado en relación al poder calorífico con 4,013 Kcal/kg (Anexo 11.5)

Marcos (1989), afirma que el poder calorífico de un combustible depende fundamentalmente de su composición química. A mayor contenido de carbono mayor es el poder calorífico. Pero también depende de la humedad, a mayor humedad menor es la cantidad de materia combustible y mayor es el calor invertido en evaporar el agua por lo que el poder calorífico es menor.

Las especies evaluadas presentaron distinto valor de poder calorífico, encontrándose entre 4,000 y 5,000 Kcal/kg. Según Montúfar (2012), dependiendo de la variedad y su contenido de humedad, el poder calorífico de la leña oscilar entre 4,000 y 5,000 Kcal/kg; por peso, todas las maderas tienen aproximadamente el mismo poder calorífico, pero por volumen las maderas duras tienen un poder calorífico más alto que las blandas. Las especies evaluadas oscilan entre el rango anteriormente mencionado.

7.4.2 Contenido de humedad

La madera de *Eucalyptus sp*, *Gliricidia sepium* e *Inga sp*. que se utilizaron para la transformación de cardamomo cereza a pergamino, obtuvo un contenido de humedad de 8.83 %, 14.64 % y 9.11 % respectivamente según los datos de laboratorio. (Ver anexo 11.5)

Éste valor se obtuvo al exponer la leña bajo techo frente a condiciones naturales del lugar. El rendimiento que se obtuvo por cada una de las especies, está estrechamente relacionado con el contenido de humedad de la madera, pues parte de la materia prima debe ser consumida para eliminar el agua en el proceso de combustión.

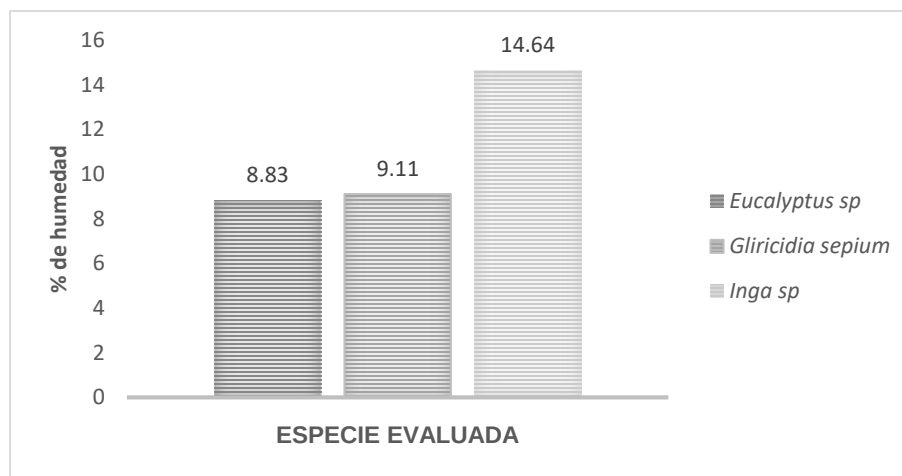


Figura 4. Porcentaje de humedad de las especies de leña evaluadas en el proceso de secado de cardamomo.

En la figura 4, se observa el porcentaje de humedad obtenido por cada una de las especies utilizadas como combustible de prueba para el estudio, obteniendo el menor porcentaje de humedad para la especie *Eucalyptus sp*. Por otra parte la especie *Gliricidia sepium* obtuvo el porcentaje de humedad más alto con 14.64 %, por su parte la FAO (1983) y Pérez (1989), comparten la opinión que la humedad es un adulterante que baja el valor calorífico de los combustibles como el carbón y la leña, por lo que esta variable puede ser una adulterante en el rendimiento de la leña utilizada en el estudio.

Las especies evaluadas fueron almacenadas frente a condiciones naturales del área de estudio. La Torre (1992), indica que la humedad desaparece con el proceso de carbonización y que el grado de humedad depende, naturalmente, de las condiciones meteorológicas y del tipo de las instalaciones de almacenamiento.

Uno de los factores que pueden afectar el poder calorífico y, por ende, la eficiencia y el proceso de conversión, es el contenido de humedad. La presencia de humedad significa una disminución del poder calorífico de la madera, ya que se requiere un consumo de calor para evaporarla (Patiño y Smith, 2008).

7.5 RENTABILIDAD DEL USO DE LA LEÑA EN EL SECADO DE CARDAMOMO

Para calcular la rentabilidad financiera de cada tratamiento utilizado, fue necesario realizar un análisis de costos por cada tratamiento, que determino, la mejor especie de leña. Para poder realizar este cálculo se llevaron los registros de costos detallados por cada hornada de cardamomo y metros cúbicos de leña utilizada. (Anexo 4)

Criterios financieros en el secado de cardamomo

- El costo promedio del transporte de cada metro cubico de leña puesto en el Beneficio es de Q.15.00
- El apilado, traslado y llenado de cámara de combustión se tomó en cuenta en base al costo del personal contratado para este trabajo (jornales se tomaron en base al salario mínimo de Q. 90.16 por día.
- Los costos de combustible se basan en costo del mercado Actual
- Los ingresos de producción están basados en el rendimiento promedio de quintales de cardamomo de cereza a pergamino
- El valor comercial promedio del quintal de cardamomo pergamino se basa en el precio del mercado actual

Cuadro 12. Análisis financiero para el secado de cardamomo con leña de *Eucalyptus* sp.

Descripción	unidad de medida	cantidad	Costo unitario	Total
Costos directos				Q 18,732.16
insumos				
cardamomo cereza	quintales	40	Q 450.00	Q 18,000.00
Valor de la leña				
valor de la madera <i>Eucalyptus</i> sp	m ³	1.9608	Q 125.84	Q 246.75
combustible	galones	5.2	Q 21.11	Q 109.77
proceso de secado				
apilado de leña	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
transporte de leña a cámara de combustión	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
llenado de cámara de combustión	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
Mantenimiento de caldera				
Mano de obra para mantenimiento	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
costo transporte de leña	m ³	1	Q 15.00	Q 15.00
costos indirectos				Q 90.16
jornal administrador	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
Costo Total				Q 18,822.32
INGRESO BRUTO/PRODUCCION	quintales de cardamomo pergamino	8.3	Q 2,700.00	Q 22,410.00
UTILIDAD NETA (IB-CT)				Q 3,587.68
RENTABILIDAD (U. NETA/CT)*100				19.06%

Cuadro 13. Análisis financiero para el secado de cardamomo con leña de *Gliricidia sepium*

Descripción	unidad de medida	cantidad	Costo unitario	Total
Costos directos				Q 18,865.48
insumos				
cardamomo cereza	quintales	40	Q 450.00	Q 18,000.00
Valor de la leña				
valor de la madera <i>Gliricidia sepium</i>	m ³	2.0062	Q 186.29	Q 373.73
combustible	galones	5.5	Q 21.11	Q 116.11
proceso de secado				
apilado de leña	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
transporte de leña a cámara de combustión	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
llenado de cámara de combustión	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
Mantenimiento de caldera				
Mano de obra para mantenimiento	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
costo transporte de leña	m ³	1	Q 15.00	Q 15.00
costos indirectos				Q 90.16
jornal administrador	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
Costo Total				Q 18,955.64
INGRESO BRUTO/PRODUCCION	quintales de cardamomo pergamino	8.3	Q 2,700.00	Q 22,410.00
UTILIDAD NETA (IB-CT)				Q 3,454.36
RENTABILIDAD (U. NETA/CT)*100				18.22%

Cuadro 14. Análisis financiero para el secado de cardamomo con leña de *Inga* sp

Descripción	unidad de medida	cantidad	Costo unitario	Total
Costos directos				Q 18,832.06
insumos				
cardamomo cereza	quintales	40	Q 450.00	Q 18,000.00
Valor de la leña				
valor de la madera <i>Inga</i> sp	m ³	2.156	Q 157.80	Q 340.31
combustible	galones	5.5	Q 21.11	Q 116.11
proceso de secado				
apilado de leña	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
transporte de leña a cámara de combustión	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
llenado de cámara de combustión	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
Mantenimiento de caldera				
Mano de obra para mantenimiento	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
costo transporte de leña	m ³	1	Q 15.00	Q 15.00
costos indirectos				Q 90.16
jornal administrador	jornales	1	Q 90.16	Q 90.16
Costo Total				Q 18,922.22
INGRESO BRUTO/PRODUCCION	quintales de cardamomo pergamino	8.3	Q 2,700.00	Q 22,410.00
UTILIDAD NETA (IB-CT)				Q 3,487.78
RENTABILIDAD (U. NETA/CT)*100				18%

Los costos para cada una de las especies de leña utilizadas para el secado de cardamomo son similares, las actividades laborales como apilamiento de leña, abastecimiento de la cámara de combustión, transporte y combustible son las mismas para cada proceso de secado. Si analizamos los costos y la tasa de rentabilidad obtenida, las industrias dedicadas al secado de cardamomo pueden optar por tomar cualquier decisión con respecto a la utilización de las tres especies de leña evaluadas, tomando

en cuenta además de esto, que no existe diferencia significativa en el rendimiento de la leña al momento de utilizarla como combustible.

Desde el punto de vista económico, la rentabilidad que se obtiene al analizar los costos e ingresos por cada proceso de secado, se define que la especie de *Eucalyptus* sp. es la más eficiente con una rentabilidad del 19%, en comparación con las otras dos especies evaluadas.

La variabilidad de los precios de la leña están dados principalmente por los rendimientos percibidos por los proveedores, es de esta manera que el precio de la leña es debido a sus cualidades como, calidad de brazas, ceniza y llamas al momento de utilizarla como combustible.

8. CONCLUSIONES

Para la evaluación del rendimiento se tomó en cuenta el volumen obtenido por cada una de las especies de leña, obteniendo el mejor rendimiento para la especie *Eucalyptus* sp. (1.9608 m^3) con respecto a las especies de *Gliricidia sepium* (2.0062 m^3) e *Inga* sp. (2.1566 m^3).

El poder calorífico de las especies de leña evaluadas se determinó a través de un análisis de laboratorio, encontrándose que la especie *Inga* sp. posee 4,265 Kcal/kg de madera, la especie de *Gliricidia sepium* 4,031 Kcal/kg y la especie *Eucalyptus* sp. 4,013 Kcal/kg.

La rentabilidad calculada para la especie de *Eucalyptus* sp. es de 19 % con una utilidad neta de Q. 3,587.68 por secada de 40 quintales de cardamomo en cereza, para la especie de *Gliricidia sepium* una rentabilidad de 18.22 % con un utilidad neta de Q. 3,454.36, para *Inga* sp. una rentabilidad de 18% y una utilidad neta de Q. 3,487.78

El rendimiento calculado para las tres especies evaluadas no presento diferencias estadísticas significativas, aceptándose por lo tanto la hipótesis Nula.

El porcentaje de humedad de las especies de leña evaluadas, se determinó a través de una análisis de laboratorio encontrándose que la especie de *Eucalyptus* sp. posee un 8.83 %, la especie *Inga* sp 9.11 % y la especie *Gliricidia sepium* el porcentaje de humedad más alto con 14.64 %.

9. RECOMENDACIONES

Utilizar cualquiera de las tres especies de leña evaluadas en esta investigación, tomando en cuenta que no existen diferencias estadísticas significativas entre la variable rendimiento en volumen, realizando los procedimientos ejecutados en este estudio para lograr obtener los mejores rendimientos en volumen de leña consumida para el proceso de secado de cardamomo.

Realizar nuevos estudios en el mismo sentido que el presente trabajo con otras especies de leña y nuevas variables a estudiar, con el fin de comparar nuevas especies, principalmente de bosques energéticos, debido a la alta demanda que tiene la leña en sector doméstico e industrial.

Mediante pruebas de laboratorio, determinar el poder calorífico, porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas carbón fijo y otras variables de las especies de leña utilizadas en las diferentes regiones del país para el secado de cardamomo, y de esta manera obtener mayores variables comparativas para su utilización como fuentes energéticas.

Debido la falta de personal técnico capacitado, los punteadores (encargados de verificar el proceso de secado de cardamomo), de las industrias dedicadas al proceso de transformación de cardamomo, deben de ser capacitados constantemente e implementar mejores tecnologías para el proceso, a fin de que se maneje la temperatura adecuadamente en el secado, ya que consecuentemente puede incrementar el consumo del volumen de leña .

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, C. (2015). Consumo de leña en el proceso de secado de Cardamomo (*Elettaria cardamomum*); Santa Catalina la Tinta, Alta Verapaz Tesis Ing. Forestal. Alta Verapaz, Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 84 pg.
- Aldana, J. (2012). Impactos socioeconómicos del beneficiado de cardamomo (*Elettaria cardamomum*, zingiberaceae), en la Asociación de productores indígenas la catarata (APIC), Lanquín, Alta Verapaz, del 2006 al 2010. Tesis Ingeniero Forestal, Universidad Rafael Landívar. Guatemala. Pg. 66
- BANGUAT y URL-IARNA. (2009). Cuenta Integrada del Bosque. Resultados y análisis. (En línea). Guatemala, Guatemala, consultado el 12 de Agosto de 2015. Disponible en <https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/ceea/archive/Forest/libro-bosque-bases.pdf>
- CARDEGUA. (2012). *Cardamomo. Información sobre el cardamomo cultivo*. Recuperado el 1 de Octubre de 2015, www.cardegua.com/cardamomo.html.
- CARDER-UNION EUROPEA. (2013). Guía de cubicación de Madera No.1, proyecto de la Gobernanza Forestal en Colombia. Colombia. Pg. 44
- Carrasco, J. (2007). Combustión directa de la biomasa. EOI Escuela de negocios Master en Energías Renovables y Mercado Energético. Pg. 30
- CATIE. (1984). Especies para Leña. Arbustos y Árboles para la Producción de Energía. Nacional, Academia of Sciences, Vol. I, 1981. Vol. II, Edición CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1984. Pg. 344
- CATIE. (1998). Nota técnica sobre manejo de semillas forestales, No. 40 Inga vera Willd. CATIE Turrialba, Costa Rica.

CEPAL, (2011). Centro América: Estadísticas de Subsector Eléctrico. México D. F. pg. 39

CRONQUIST, A. (1981). An integrated system. Of classification of flowering. Plants. New York. EE.UU. Colombia University. Press.

De León, J. (2010) Estudio De Factibilidad Para Producción De Energía Eléctrica, a Partir De Biomasa De Eucalipto, tesis para obtener el título de ingeniero Electricista, Universidad de San Carlos. Guatemala. Pg. 120

Domínguez, J. (2013). Calderas eficientes en procesos industriales, conceptos de combustión y combustibles. Madrid España dirección general de industria Energía y Minas. Pg. 15

FAO. (2002). The salt of the earth: hazardous for food production. (en Línea) World Food Summit. consultado el 22 de agosto de 2015 (disponible en: www.fao.org/worldfoodsummit/english/newsroom/focus/focus1.htm).

FAO. (2004). UBET Unified bioenergy terminology Wood Energy Programme, FAO Forestry Department FAO Italia. Pg. 58

FAO. (2008) Bosques y energía: cuestiones clave. Organización de la Naciones Unida para la agricultura y la alimentación., Roma. pg. 86

FAO. (2009). FAOSTAT. (En línea) Consultado el 22 de agosto de 2015. (disponible en www.faostat.fao.org).

FAO. (2010). Criteria and indicators for sustainable woodfuels. FAO Forestry Paper 160. Rome. Pg. 103

FAO. (2014). Estado de los Bosques del mundo (en línea). Roma, FAO. Consultado el 10 de agosto de 2015. Disponible en www.fao.org/3/a-i3710s.pdf

- Fenerca. (2003) Promoción de Energía Renovable en Centro América: Oportunidades para el planteamiento de políticas. San José de Costa Rica: Fenerca, E+Co y BUN-CA. Pg. 71
- Fonnegra, R. (2007). Plantas medicinales aprobadas en Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. Segunda Edición. Pg. 368.
- INAB, IARNA-URL, FAO (2012). Oferta y Demanda de Leña en la República de Guatemala. Informe final. Pg. 76
- INAB. (2004). Guía práctica para la cubicación de madera. Instituto Nacional de Bosques. Segunda Edición pg. 14
- INAB. (2015). Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso Eficiente de Leña 2013 - 2024. Serie Institucional ES-002(2015). Guatemala. Pg. 43
- INSIVUMEH. (2014). Estación, Papalha. Consultado el 2 de octubre 2015, disponible en <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/ALTA%20VERAPAZ/PAPALHA%20PARAMETROS.htm>.
- Instituto para la Diversificación y ahorro de Energía, (2007). Biomasa: Cultivos Energéticos. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid, España Pg. 56
- López, E. (2008). Diseño y Análisis de Experimentos, fundamentos y aplicaciones en Agronomía. Universidad San Carlos de Guatemala. Pg. 185
- MAGA. (2001), Unidad de políticas e información estratégica. Guatemala consultado el 15 de agosto de 2015. Disponible en web.maga.gob.gt/wp-content/blogs.dir/13/files/2013/.../base_digital_250000.pdf
- MAGA. (2007). Programa de Apoyo a los Agro negocios (en línea) Guatemala. Consultado 15 de agosto de 2015. Disponible en <http://www.lalagunillavillena.org/tang/curry/2007>

- MAGA. (s/f). CARDAMOMO. (En línea) consultado el 2 de octubre de 2015 (disponible en: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-cardamomo.pdf)
- Marcos, M. (1989). El Carbón Vegetal. Propiedades y Obtención. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pg.117
- MARENA / INAFOR. (2002). Guía de Especies Forestales de Nicaragua/Orgut Consulting AB 1a Ed. Managua, Nicaragua, Editora de Arte, S.A. Junio, 2002. Pg. 160
- Montúfar, D. (2012) Evaluación del uso de biomasa como combustible alternativo en la producción de ladrillos de barro cocido en el municipio de el tejar Chimaltenango, tesis, Ingeniero Civil. Universidad de San Carlos. Guatemala. Pg. 125
- OLADE. (2008). Informe de estadísticas energéticas. Quito Ecuador. Pg. 112
- Patiño, J. y Smith, R. (2008). “Consideraciones sobre la dendroenergía bajo un enfoque sistémico”. *Revista Energética* No 39. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, pg. 19-34.
- Reyes, R. y Neira E. (2012). Leña, energía renovable para la conservación de los bosques nativos de Chile. Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo. MIRA ediciones, Valdivia, Chile. Pg. 79
- Rodriguez, C. (1990). Inga vera Willd, Guaba. Departement of Agricultura, Flores Service. Southen Forest Experimente Station. New Orleans. Pg. 4
- Rojas, E. (2014). calidad de carbón vegetal de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh producido en horno metálico de tambor tipo japonés mejorado. Tesis ingeniero forestal Industrial. Chapingo, Texcoco, Edo. De México. Universidad de Chapingo México. Pg. 71

- Scherpenisse, C. (1986) Incidencia de la leña como recurso energético doméstico. Tesis Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Pg. 183
- Sierra, R. (1998). Proceso de beneficiado de Cardamomo para Exportación. Tesis. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Pg. 137
- Tovar, M. (1986). Silvicultura de especies promisorias para la producción de Leña en América Central. Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Pg. 219
- URL, IARNA. (2009) Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009: las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo.
- URL/IARNA. (2012). Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012, vulnerabilidad Local y creciente construcción de riesgo. Pg. 468
- UVG, URL, INAB, CONAP. (2012). Dinámica de la cobertura forestal de Guatemala durante los años 2006-2010 y mapa de cobertura forestal 2010. Pg. 35

11. ANEXOS

11.1 Producción de leña en ALAC y tasa de Crecimiento

PRODUCCIÓN DE LEÑA EN ALAC (kbep)[1]				TASA DE CRECIMIENTO (%)	
País	1998	2006	2007	1998-2007	2006-2007
Argentina	7.105,30	8.331,40	8.331,40	1,78	0
Bolivia	2.938,22	2.672,88	2.672,88	-1,05	0
Brasil	154.816,09	204.821,75	205.820,75	3,21	0,49
Chile	29.125,43	35.056,80	36.939,34	-1,7	-0,03
Colombia	18.093,91	15.508,70	15.503,48	-1,7	-0,03
Costa Rica	361,14	3.082,48	3.413,74	28,35	10,75
Cuba	2.169,10	1.602,57	3.666,33	6,01	128,78
Ecuador	4.280,10	3.465,58	3.369,61	-2,62	-2,77
El Salvador	8.064,69	8.809,79	8.809,79	0,99	0
Guatemala	20.220,23	25.405,40	26.218,51	2,93	3,20
Haití	12.054,32	13.524,80	13.524,80	1,29	0
Honduras	11.434,35	10.461,76	10.984,84	-0,44	5
Jamaica	2.237,58	1.278,85	1.278,85	-6,03	0
México	42.710,63	42.570,72	42.493,55	-0,06	-0,18
Nicaragua	8.065,34	9.984,92	10.083,58	2,51	0,99
Panamá	2.835,24	3.561,90	3.349,64	1,87	-5,96
Paraguay	13.563,95	12.633,92	13.963,31	0,32	10,52
Perú	13.166,10	13.800,37	14.860,91	1,36	7,68
Rep. Dominicana	8.228,17	3.946,72	3.946,72	-7,84	0
Uruguay	2.961,5	3.107,78	3.181,27	0,8	2,36
Venezuela	206,89	175,78	206,8	-15	17,65
Total, LA&C	366.618,4	425.973,92	434.789,18	1,91	2,07

11.2 Producción de Cardamomo en Guatemala correspondiente al periodo de 1996 al 2006

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Promedio Anual
Producción (Toneladas métricas)	16240	17237	17581	14515	14783	16284	19527	28667	28839	31724	31724	21,573
Área (ha)	48217	48567	49615	41928	42836	48916	53947	62892	63591	68482	69181	54,379
Tasa de crecimiento de la producción		6.14%	2.00%	17.44%	1.85%	10.15%	19.92%	46.81%	0.60%	10.00%	0.00%	8.00%
Tasa de crecimiento en área		0.73%	2.16%	15.49%	2.17%	14.19%	10.28%	16.58%	1.11%	7.69%	1.02%	4.04%

Producción de Cardamomo en Guatemala correspondiente al periodo de 1996 al 2006 (BANGUAT)

11.3 Boleta de información de campo

Boleta de información de
Campo

Lugar			Nombre del Beneficio				
Fecha			Investigador				
DATOS	LEÑA		CARDAMOMO			TIEMPO/hora	
No./ Hornada	Especie	m3 / leña	metros estéreos	qq /card./cereza	qq./ card. pergamino	Inicio	Final
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

Observaciones

Fuente: Elaboración Propia

11.4 Boleta de información de costos

Boleta de información de costos				
Nombre del Beneficio				
Investigador				
Lugar y Fecha				
Especie de leña utilizada				
Descripción del recurso	Unidad	Cantidad	Precio	Total
jornales para la extracción de leña (corta, troceo, apilado)				
transporte de leña				
precio del metro estéreo de leña				
precio del metro cubico de leña				
quintales de cardamomo cereza				
quintales de cardamomo Pergamino				
Precio cardamomo cereza				
Precio cardamomo Pergamino				
herramientas (motosierra)				
combustible				

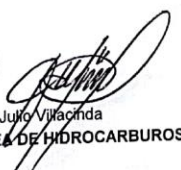
Fuente: Elaboración Propia

11.5 RESULTADOS DE LABORATORIO DEL PODER CALORIFICO Y PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LAS ESPECIES DE LEÑA EVALUADAS

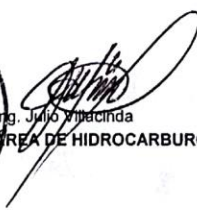
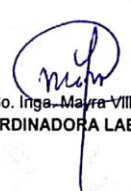
11.5.1 resultados del análisis de laboratorio para la especie Gliricidia sepium

 GOBIERNO DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS	LABORATORIOS TÉCNICOS	PÁGINA 1 DE (1) LAB-REP-1257-17 ORDEN No. L-0540-17 GUATEMALA, 01-09-17													
RESULTADOS DE ANÁLISIS MUESTRA: Madre Cacao PRESENTADA POR: Ariel Antonio Cahuec RESPONSABLE DEL MUESTREO: Ariel Antonio Cahuec PROCEDENCIA: Municipio de La Tinta LOCALIZACIÓN: Alta Verapaz FECHA DE MUESTREO: 19-08-17 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 23-08-17 FECHA DE ANÁLISIS: del 31-08-17 al 01-09-17 PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 32.00 ANALISTA: Hever Pérez															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>MÉTODO DE ANÁLISIS</th> <th>ESPECIFICACIÓN (a)</th> <th>RESULTADOS (b)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PODER CALORIFICO SUPERIOR, MJ/Kg</td> <td>ASTM D-240</td> <td></td> <td>(c) 16.87</td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD, % masa</td> <td>Gravimétrico</td> <td></td> <td>14.64</td> </tr> </tbody> </table>	DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADOS (b)	PODER CALORIFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240		(c) 16.87	HUMEDAD, % masa	Gravimétrico		14.64			
DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADOS (b)												
PODER CALORIFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240		(c) 16.87												
HUMEDAD, % masa	Gravimétrico		14.64												
OBSERVACIONES: a) En el Acuerdo Ministerial No. 283-2016 no existen especificaciones para este producto. b) Los resultados son válidos solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio. c) El valor de 16.87 MJ/Kg es equivalente a 4031 Kcal/Kg y a 7255 Btu/Lb.  Inga. Mayra Villatoro ÁREA DE HIDROCARBUROS Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS 															
Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464															
El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico															
 @MEMguatemala  /MEMguatemala www.mem.gob.gt															

11.5.2 Resultados del análisis de laboratorio para la especie *Eucalyptus* sp.

 GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS	LABORATORIOS TÉCNICOS	PÁGINA 1 DE (1) LAB-REP-1259-17 ORDEN No. L-0540-17 GUATEMALA, 01-09-17													
RESULTADOS DE ANÁLISIS															
MUESTRA: Eucalipto PRESENTADA POR: Ariel Antonio Cahuec RESPONSABLE DEL MUESTREO: Ariel Antonio Cahuec PROCEDENCIA: Municipio de La Tinta LOCALIZACIÓN: Alta Verapaz FECHA DE MUESTREO: 19-08-17 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 23-08-17 FECHA DE ANÁLISIS: del 31-08-17 al 01-09-17 PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 32.00 ANALISTA: Jhonatan Ríos															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>MÉTODO DE ANÁLISIS</th> <th>ESPECIFICACIÓN (a)</th> <th>RESULTADOS (b)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg</td> <td>ASTM D-240</td> <td>-----</td> <td>(c) 16.80</td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD, % masa</td> <td>Gravimétrico</td> <td>-----</td> <td>8.53</td> </tr> </tbody> </table>	DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADOS (b)	PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 16.80	HUMEDAD, % masa	Gravimétrico	-----	8.53			
DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADOS (b)												
PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 16.80												
HUMEDAD, % masa	Gravimétrico	-----	8.53												
OBSERVACIONES: a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto. b) Los resultados son válidos solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio. c) El valor de 16.80 MJ/Kg es equivalente a 4013 Kcal/Kg y a 7223 Btu/Lb.															
 Ing. Julio Villacinda AREA DE HIDROCARBUROS  Vo. Bo. Inga. Mayra Villatoro COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS 															
Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464															
El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico															
 @MEMguatemala  /MEMguatemala www.mem.gob.gt															

11.5.3 Resultados del análisis de laboratorio para la especie *Inga* sp.

 GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS	LABORATORIOS TÉCNICOS	PÁGINA 1 DE (1) LAB-REP-1258-17 ORDEN No. L-0540-17 GUATEMALA, 01-09-17	
RESULTADOS DE ANÁLISIS			
MUESTRA: Cuje PRESENTADA POR: Ariel Antonio Cahuec RESPONSABLE DEL MUESTREO: Ariel Antonio Cahuec PROCEDENCIA: Municipio de La Tinta LOCALIZACIÓN: Alta Verapaz FECHA DE MUESTREO: 19-08-17 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 23-08-17 FECHA DE ANÁLISIS: del 31-08-17 al 01-09-17 PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 32.00 ANALISTA: Hever Pérez			
DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADOS (b)
PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	-----	(c) 17.86
HUMEDAD, % masa	Gravimétrico	-----	9.11
OBSERVACIONES: a) En el Acuerdo Ministerial No. 263-2016 no existen especificaciones para este producto. b) Los resultados son válidos solo para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio. c) El valor de 17.86 MJ/Kg es equivalente a 4265 Kcal/Kg y a 7677 Btu/Lb.   Ing. Julio Villacinda AREA DE HIDROCARBUROS  Vo. Bo. Inga Mayra Villatoro COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS 			

Jvg Ministerio de Energía y Minas / Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 Las Charcas / PBX: 2419-6464

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

 @MEMguatemala

 /MEMguatemala

www.mem.gob.gt